



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



“REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LAS PÉRDIDAS DE AGUA POR
INFILTRACIÓN, EN EL CANAL SAN MARTIN DE LA COMISIÓN DE USUARIOS
SEMINARIO, EMPLEANDO SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA”

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO
DE INGENIERO AGRÍCOLA
PRESENTADA POR:

Br. BRAYAN STEVEN CARRASCO CASTAÑEDA

Línea: Aprovechamiento y gestión sostenible del ambiente y los recursos naturales.

Sub línea: Aprovechamiento y conservación de los recursos naturales.

PIURA, PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

“REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LAS PÉRDIDAS DE AGUA POR
INFILTRACIÓN, EN EL CANAL SAN MARTIN DE LA COMISIÓN DE USUARIOS
SEMINARIO, EMPLEANDO SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA”

TESIS

PRESENTADA A LA FACULTAD DE AGRONOMIA PARA OPTAR
EL TITULO DE INGENIERO AGRÍCOLA

Br. Brayan S. Carrasco Castañeda

Ejecutor

Ing. Walter M. Ramírez Chacón

Asesor

Ing. Yoel E. Córdova Elera

Co- Asesor

Piura – Perú

2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE LA TESIS

YO, **Brayan Steven Carrasco Castañeda**, identificado con DNI N° 46712147, Bachiller de la escuela profesional de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Agronomía y domiciliado en AA. HH Luis Antonio Predes Maceda Mz A9 Lt-35, Distrito de 26 de octubre, Provincia de Piura, Departamento de Piura.

Celular: 920093765

Correo: brayanscc_15@hotmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es auténtica e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada y/o realizada en el Perú o en el extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. 32 de la ley N°27444, ley del Procedimiento administrativo general y las normas legales de protección de los derechos del autor.

En fe de lo cual firmo la presente

Piura, febrero del 2020



Br. Brayan Steven Carrasco Castañeda
DNI N°46712147



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA



"REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LAS PÉRDIDAS DE AGUA POR
INFILTRACIÓN, EN EL CANAL SAN MARTIN DE LA COMISIÓN DE USUARIOS
SEMINARIO, EMPLEANDO SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA"

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AGRICOLA

Br. BRAYAN STEVEN CARRASCO CASTAÑEDA

APROBADO POR:

Ing. Gilmer A. Camacho Lázaro M.Sc.

PRESIDENTE

Ing. Victor H. Timana Paz

SECRETARIO

Dr. Heber A. Alcoser Calle

VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE AGRONOMÍA




ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
003 - 2020-UIFA-UNP


Los miembros del jurado calificador que suscriben, congregados para estudiar el Trabajo de Tesis denominado "REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LAS PÉRDIDAS DE AGUA POR INFILTRACIÓN EN EL CANAL SAN MARTIN DE LA COMISIÓN DE USUARIOS SEMINARIO, EMPLEANDO SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA", conducido por el BR. BRAYAN STEVEN CARRASCO CASTAÑEDA, asesorado por el Ing. Walter M. Ramírez Chacón y Co - asesorado por el Ing. Yoel E. Córdova Elera.

Luego de oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran APROBADO, en consecuencia queda en condiciones de ser calificado APTO para gestionar ante el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, el Título Profesional de Ingeniero Agrícola de conformidad con lo estipulado en el artículo N° 171, inciso 2° del Estatuto General de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 13 de Enero del 2020.


Ing. Gilmer Lázaro Camacho MSc.
Presidente


Dr. Heber A. Alcoser Calle
Vocal


Ing. Víctor H. Timaná Paz
Secretario

DEDICATORIA

A Dios

Por ser la luz que siempre ilumina mi camino, ayudarme en la toma de decisiones, y me da las fuerzas necesarias para poder continuar en este proceso evolutivo en mi vida, los tiempos de Dios son perfectos.

A mis padres Oscar y Betty

Con inmenso amor y afecto estoy eternamente agradecido por su apoyo incondicional, por su confianza plena, sacrificio y hacer de mí una mejor persona y un profesional. Los amo con todas mis fuerzas y a pesar de la adversidad de la vida ustedes son los mejores padres que Dios me pudo a ver dado, los vuelvo a elegir mil veces más.

A mi abuela Paula

Eres muy especial en mi vida, lamento mucho no puedas estar presente para que veas mis logros y celebremos juntos, sé que desde el cielo me proteges y guías. Esto va por ti que en cada uno de mis sueños intercedes motivándome día a día.

A mi abuelo Genaro

Eres la persona que siempre estuvo a mi lado en mis peores momentos con tus consejos, motivándome a lo largo de mi vida, Por ser parte de la formación de valores que hoy determinan mi personalidad y profesionalismo. Gracias por todo y esto también va para ti papito Genaro.

A mi Hermano Jancarkl.

Por su motivación y apoyo, siempre adelante para las que sean siempre juntos.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser la fuerza superior y cuidar mi camino.

A mis padres por su apoyo y amor incondicional.

Mi agradecimiento profundo a la Universidad Nacional de Piura y la Escuela de Ingeniería Agrícola, a mis profesores los ingenieros Mario A. Montero Torres, Santiago A. Salas Cuadros, Carlos M. Cabrejos Vásquez, que forman parte de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, y en especial a los ingenieros Walter M. Ramírez Chacón y Yoel Esleiter Córdova Elera por su acertada dirección para el desarrollo de esta investigación, al Sub Gerente de Operación y Mantenimiento de la Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura ingeniero Leónidas Silva Mechato, por su apoyo incondicional en la etapa de campo.

A los ingenieros Gilmer Camacho Lázaro, Víctor Timana Paz, Heber Alcosser Calle miembros del jurado por sus acciones y consejos correctivos que contribuyeron a la investigación.

RESUMEN

“REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LAS PÉRDIDAS DE AGUA POR INFILTRACIÓN, EN EL CANAL SAN MARTIN DE LA COMISIÓN DE USUARIOS SEMINARIO, EMPLEANDO SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA”

La presente investigación describe el estudio para la representación espacial de las pérdidas de agua por infiltración, en el canal San Martin de la comisión de Usuarios Seminario, empleando Sistema de Información Geográfica. Los datos utilizados en el presente estudio fueron recopilados directamente del área de estudio que es el canal San Martin, el cual se encuentra bajo la administración de la comisión de Usuarios Seminario. El canal no se encuentra revestido actualmente y cubre un área de 887.84 ha, con 1052 predios con 17 tomas y una longitud de 7.5km, y cuya principal característica es la baja eficiencia de conducción ocasionando pérdidas de agua a causa del mal estado físico que presenta el canal y la falta de mantenimiento que este recibe. La metodología consta de tres fases, Pre-campo se hicieron coordinaciones para poder acceder al área de estudio con el ingeniero encargado de la operación de la Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura, de campo se reconoció la zona de estudio, se establecieron cuatro puntos fijos para el estudio cada 500m, se hicieron pruebas de infiltración, análisis de suelos y aforos con correntómetro, de gabinete se procedió con el procesamiento de los datos obtenidos en campo y su respectiva representación espacial de las pérdidas de agua por infiltración lo cual es el objetivo, para ello se tomaron como referencias literaturas científicas respectivas para el desarrollo de los cálculos y del estudio.

Se concluyo que la eficiencia de conducción es de 74.11% según evaluación del canal, las pérdidas obedecen a las condiciones físicas del canal, lo que perjudica la conducción eficiente del recurso hídrico.

Palabras claves: Infiltración, eficiencia, conducción, canal.

ABSTRACT

“SPACE REPRESENTATION OF WATER LOSSES BY INFILTRATION, IN THE SAN MARTIN CHANNEL OF THE COMMISSION OF USERS SEMINAR, USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM”

The present investigation describes the study for the spatial representation of water losses due to infiltration, in the San Martin channel of the Seminar Users commission, using a geographic information system. The data used in the present study were collected directly from the study area that is the San Martin channel, which is under the administration of the Seminar Users commission.

The channel is not currently covered and covers an area of 887.84 ha, with 1052 lots with 17 intakes and a length of 7.5km, and whose main characteristic is the low driving efficiency causing water losses due to the poor physical condition it presents the channel and the lack of maintenance it receives. The methodology consists of three phases, Pre-field coordination was made to access the study area with the engineer in charge of the operation of the Board of Users of the Middle and Lower Piura, the study area was recognized in the field, four were established fixed points for the study every 500m, infiltration tests, soil analysis and gauging with correntometer were made, the cabinet proceeded with the processing of the data obtained in the field and its respective spatial representation of water leaks due to infiltration which is The objective, for this purpose, was taken as the respective scientific literature references for the development of calculations and study.

It was concluded that the conduction efficiency is 74.11 %, according to the evaluation of the channel, the losses are due to the physical conditions of the channel, which damages the efficient conduction of the water resource.

Keywords: Infiltration, efficiency, conduction, channel.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.....	3
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD DE LA PROBLEMÁTICA.....	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.2.1 Problemas específicos.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.4 OBJETIVOS.	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.5.1 Ubicación del área de influencia.....	6
II. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.2. BASES TEÓRICAS.....	9
2.3. GLOSARIO DE TERMINOS BÁSICOS.....	17
2.4. MARCO REFERENCIAL.....	17
2.5. HIPÓTESIS.....	20
2.5.1. Hipótesis General.....	20
2.5.2. Hipótesis Específicas.....	20
III. MARCO METODOLÓGICO.....	21

3.1. ENFOQUE.....	21
3.2. DISEÑO.....	21
3.3. NIVEL.....	21
3.4. TIPO.....	21
3.5. SUJETO DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
3.6. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	22
3.6.1. Etapa pre - campo.....	22
3.6.1.1. Ubicación y extensión.....	22
3.6.2. Etapa campo.....	23
3.6.2.1. Ubicación de puntos.....	23
3.6.2.2. Análisis de suelo.....	23
3.6.2.3. Pruebas de infiltración.....	23
3.6.2.4. Aforo con correntómetro.....	24
3.6.3. Etapa de gabinete.....	25
3.6.3.1. Determinación de velocidades de infiltración.....	25
3.6.3.2. Cálculos de aforos.....	25
3.6.3.3. Determinación de pérdidas por infiltración.....	26
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1. ESTUDIOS BÁSICOS.....	31
4.1.1. Ubicación de puntos.....	31
4.1.2. Análisis de suelo.....	31
4.1.3. Prueba de infiltración.....	32

4.2. Determinación de eficiencia de conducción.....	32
4.3. Determinación de las pérdidas por infiltración.....	34
4.4. Representación espacial de pérdidas por infiltración.....	100
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
5.1. CONCLUSIONES.....	101
5.2. RECOMENDACIONES.....	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
ANEXOS.....	106

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N°01: Valores para la eficiencia de conducción en canales abiertos.....	11
CUADRO N°02: Tipo de Operación según los valores de eficiencia de conducción.....	15
CUADRO N°03: Formato de tabla de aforo.....	25
CUADRO N°04: Coeficiente de permeabilidad según Etcheverry	27
CUADRO N°05: Coeficiente de suelo según Moritz.....	28
CUADRO N°06: Coeficiente de permeabilidad según Pavlovski.....	29
CUADRO N°07: Coeficiente de permeabilidad según David-Wilson.....	30
CUADRO N°08: Textura de suelo de muestras representativas.....	31
CUADRO N°09: Cuadro de velocidades de infiltración.....	32
CUADRO N°10: Eficiencia de conducción por tramos del canal San Martin-Prueba N°01.....	33
CUADRO N°11: Eficiencia de conducción por tramos del canal San Martin-Prueba N°02.....	33
CUADRO N°12: Eficiencia de conducción por tramos del canal San Martin-Prueba N°03.....	34
CUADRO N°13: Tipo de suelo y análisis textural de muestras representativas.....	35
CUADRO N°14: Datos para el procesamiento de las pérdidas por infiltración Prueba N°01.....	36
CUADRO N°15: Valores de coeficiente de rugosidad.....	38
CUADRO N°16: Características Hidráulicas -Prueba N°01.....	39
CUADRO N°17: Pérdidas por infiltración - Prueba N°01.....	43
CUADRO N°18: Características Hidráulicas - Prueba N°02.....	44
CUADRO N°19: Pérdidas por infiltración - Prueba N°02.....	48

CUADRO N°20: Características Hidráulicas - Prueba N°03.....	49
CUADRO N°21: Pérdidas por infiltración - Prueba N°03.....	53
CUADRO N°22: Cuadro comparativo de pérdidas por infiltración - Prueba N°01.....	55
CUADRO N°23: Cuadro comparativo de pérdidas por infiltración - Prueba N°02.....	70
CUADRO N°24: Cuadro comparativo de pérdidas por infiltración - Prueba N°03.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°01: Ubicación y localización del proyecto.	7
FIGURA N°02: Pérdidas por infiltración Tramo I – Prueba N°01.....	40
FIGURA N°03: Pérdidas por infiltración Tramo II – Prueba N°01.....	41
FIGURA N°04: Pérdidas por infiltración Tramo III – Prueba N°01.....	42
FIGURA N°05: Pérdidas por infiltración Tramo IV – Prueba N°01.....	43
FIGURA N°06: Pérdidas por infiltración Tramo I – Prueba N°02.....	45
FIGURA N°07: Pérdidas por infiltración Tramo II – Prueba N°02.....	46
FIGURA N°08: Pérdidas por infiltración Tramo III – Prueba N°02.....	47
FIGURA N°09: Pérdidas por infiltración Tramo IV – Prueba N°02.....	48
FIGURA N°10: Pérdidas por infiltración Tramo I – Prueba N°03.....	50
FIGURA N°11: Pérdidas por infiltración Tramo II – Prueba N°03.....	51
FIGURA N°12: Pérdidas por infiltración Tramo III – Prueba N°03.....	52
FIGURA N°13: Pérdidas por infiltración Tramo IV – Prueba N°03.....	53

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Ubicación de puntos.....	107
ANEXO 2: Análisis de suelos.....	108
ANEXO 3: Pruebas de infiltración.....	111
ANEXO 4: Pruebas de aforo con correntómetro.....	131
4.1 Prueba N° 01 Punto I.....	131
4.2 Prueba N° 01 Punto II.....	132
4.3 Prueba N° 01 Punto III.....	133
4.4 Prueba N° 01 Punto IV.....	134
4.5 Prueba N° 02 Punto I.....	135
4.6 Prueba N° 02 Punto II.....	136
4.7 Prueba N° 02 Punto III.....	137
4.8 Prueba N° 02 Punto IV.....	138
4.9 Prueba N° 03 Punto I.....	149
5.0 Prueba N° 03 Punto II.....	140
5.1 Prueba N° 03 Punto III.....	141
5.2 Prueba N° 01 Punto IV.....	142

INTRODUCCIÓN

La búsqueda por lograr un uso eficiente del recurso hídrico, debido a lo esencial e indispensable para el crecimiento y desarrollo óptimo de los cultivos, constituye el manejo de la gestión del agua de forma integral; pero hay diferentes factores que limitan la óptima operación y distribución del servicio.

La problemática del canal San Martín perteneciente a la Comisión de Usuarios Seminario son las pérdidas de agua por conducción y por infiltración; debido a que no es revestido, este canal beneficia a 576 usuarios, con un área de riego de 887.84 ha, con 1052 predios con 17 tomas y una longitud de 7.5 km. La eficiencia de conducción del canal en la actualidad es estimada teóricamente en un 70% por la comisión de usuarios del subsector hidráulico seminario, observando esta realidad, se plantea la integración de tecnología en la metodología de riego adaptándose a la realidad, para de esta manera optimizar el riego por gravedad buscando el uso eficiente del recurso hídrico, mediante el presente proyecto de investigación denominado, “Representación espacial de las pérdidas de agua por infiltración, en el canal San Martín de la Comisión de Usuarios Seminario, empleando sistema de información geográfica”, tiene como objetivo determinar pérdidas por infiltración, que es una de las causas que afectan la operación óptima de la distribución del servicio, siendo por lo tanto de gran interés.

El presente proyecto consta de tres etapas: la cual se desglosa en una etapa de pre campo, que tuvo inicio en hacer las coordinaciones correspondientes con la Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura y con la Comisión de Usuarios Seminario, para poder acceder al área de estudio, y un reconocimiento de la ubicación y descripción del área de investigación. La segunda etapa comprende el levantamiento de las características y estudios básicos, la tercera etapa comprendida en la representación espacial a través de mapas temáticos.

La fuente de agua es superficial proveniente del canal Biaggio Arbulú, luego en la bocatoma mocara da inicio al canal Sinchao el cual distribuye agua a tres comisiones, siendo una de ellas la Comisión de Usuarios Seminario encontrándose en cola de canal.

La etapa de campo inicio con el reconocimiento de la zona de estudio, obteniendo una longitud de 2km para el proyecto, posteriormente se realizó calicatas para determinar características físicas, las muestras son extraídas cada 500 m a nivel semidetallado a profundidades de 30, 60 y 90 cm. La prueba de infiltración se realizó con el método del cilindro en cuatro puntos.

El cálculo se determinó siguiendo las bibliografías disponibles, que permiten determinar pérdidas por infiltración. Comprendiendo los componentes básicos e importantes para su determinación. La representación de las pérdidas de agua por infiltración del canal en estudio será aplicando sistema de información geográfica, a través de mapas temáticos esto ayudara en la visualización de los resultados, permitiendo identificar las zonas donde se presentan mayores pérdidas de agua por infiltración, siendo esto una base técnica para la toma de soluciones en beneficio del uso eficiente del recurso hídrico y el desarrollo agrícola sostenible.

CAPÍTULO I

ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD DE LA PROBLEMÁTICA

La inminente escasez de agua se agudizará con el pasar de los años, tanto por el cambio climático que se vienen presentando a nivel mundial, como por las mismas exigencias de los 8 350'000,000 de habitantes (Organización de las naciones Unidas 2019) que en promedio para su existencia requiere de un aproximado de unos 200 lt/día-persona según recomendaciones de la organización mundial de la salud. De toda el agua que existe en el mundo, tan solo el 3% es agua dulce y de esto, la agricultura consume cerca del 70%, esto hace que sea imperativo buscar métodos para el manejo eficiente del agua en el suelo, además que el uso del riego en la agricultura también fue desarrollado con la finalidad de mitigar los efectos de la erosión, la salinización del suelo, aminorar las inundaciones, retener humedad y permitir captaciones traslados y almacenamientos.

El Perú es un lugar privilegiado en cuanto a disponibilidad de agua, pero la distribución del recurso es totalmente asimétrica, este acontecimiento es evidente en la costa peruana, ámbito geográfico de intenso dinamismo en la producción agrícola de exportación y de crecimiento demográfico acelerado, donde el recurso agua es muy escaso; comparado con la abundancia existente en la selva y la sierra peruana.

Es un gran reto y responsabilidad para las comisiones de Usuarios administrar el recurso hídrico, a fin de que se logre eficiente y eficazmente el aprovechamiento del recurso hídrico.

En el valle del Medio y Bajo Piura se encuentra la junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura clase – A, quien gestiona el recurso hídrico del valle en aprovechamiento de las aguas que fluyen por el río Piura.

La Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura está conformada por once Comisiones de Usuarios, entre ellas la comisión de Usuarios Seminario.

La comisión de Usuarios Seminario, está constituida por los usuarios de agua con fines agrícolas, inscritos en el padrón de uso de agua, actualmente cuenta con un total de 2800 predios y 2600 usuarios con un total de 2546.64 ha de área de cultivo, bajo el régimen de licencia y permiso.

El principal problema del canal San Martín perteneciente a la comisión de Usuarios Seminario son las pérdidas de agua por infiltración debido a que es un canal no revestido, trayendo consigo, de esta manera una inequidad en la distribución del agua, para ello se necesita determinar la eficiencia de conducción, cuantificar las perdidas por infiltración y posteriormente representarlas empleando sistema de información geográfica con su aplicación ArcMap, para poder visualizar a través de mapas temáticos los puntos críticos y de esta manera proponer soluciones al sistema de operación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Es posible representar las pérdidas de agua por infiltración empleando Sistema de Información Geográfica?

1.2.1. Problemas específicos

- ¿Es posible determinar las pérdidas por infiltración empleando seis metodologías?
- ¿Es posible determinar eficiencias de conducción a lo largo del canal San Martín?
- ¿Es posible representar las pérdidas de agua por infiltración y eficiencias de conducción del canal San Martín de la Comisión de Usuarios Seminario?
- ¿Se puede identificar los puntos críticos, con mayores pérdidas por infiltración?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

El manejo del recurso hídrico se enfrenta a importantes retos, tanto en calidad, como en la cantidad de agua empleada para la producción agrícola por campaña, es por ello que la eficiencia y la correcta distribución del recurso hídrico es fundamental.

El canal San Martín pertenece a la Comisión de Usuarios Seminario, la cual tiene un área total de 2546.64 ha, el presente estudio de investigación comprende una longitud de 2km de canal el cual beneficia a 576 usuarios con un área de 884.74 ha, pero estos se ven afectados al no poder recibir su dotación correspondiente de agua, debido a las grandes pérdidas por infiltración que se dan en el canal, pérdidas que no son consideradas por desconocimiento de estas, esto genera conflictos entre usuarios y comisión.

Son estas unas de las razones por las que se realizó este proyecto con el único fin de poder cuantificar las pérdidas por infiltración y visualizar estas en mapas temáticos, los resultados que proporciona este estudio de investigación ayudara a manejar con mayor eficacia el canal San Martín para una óptima distribución, de esta manera se podrá identificar puntos críticos y plantear soluciones o en la ejecución de proyectos como revestimiento del canal, colocar limnómetros o puntos de aforos para un mayor control del caudal de conducción del canal en estudio y evitar conflictos con las dos comisiones aguas arriba con las que por años siempre existe conflictos por el recurso hídrico.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Representar espacialmente las pérdidas de Agua por infiltración empleando la aplicación ArcMap del sistema de información geográfica, en el canal San Martín de la comisión de Usuarios del Subsector Hidráulico Seminario.

1.4.2. Objetivos específicos

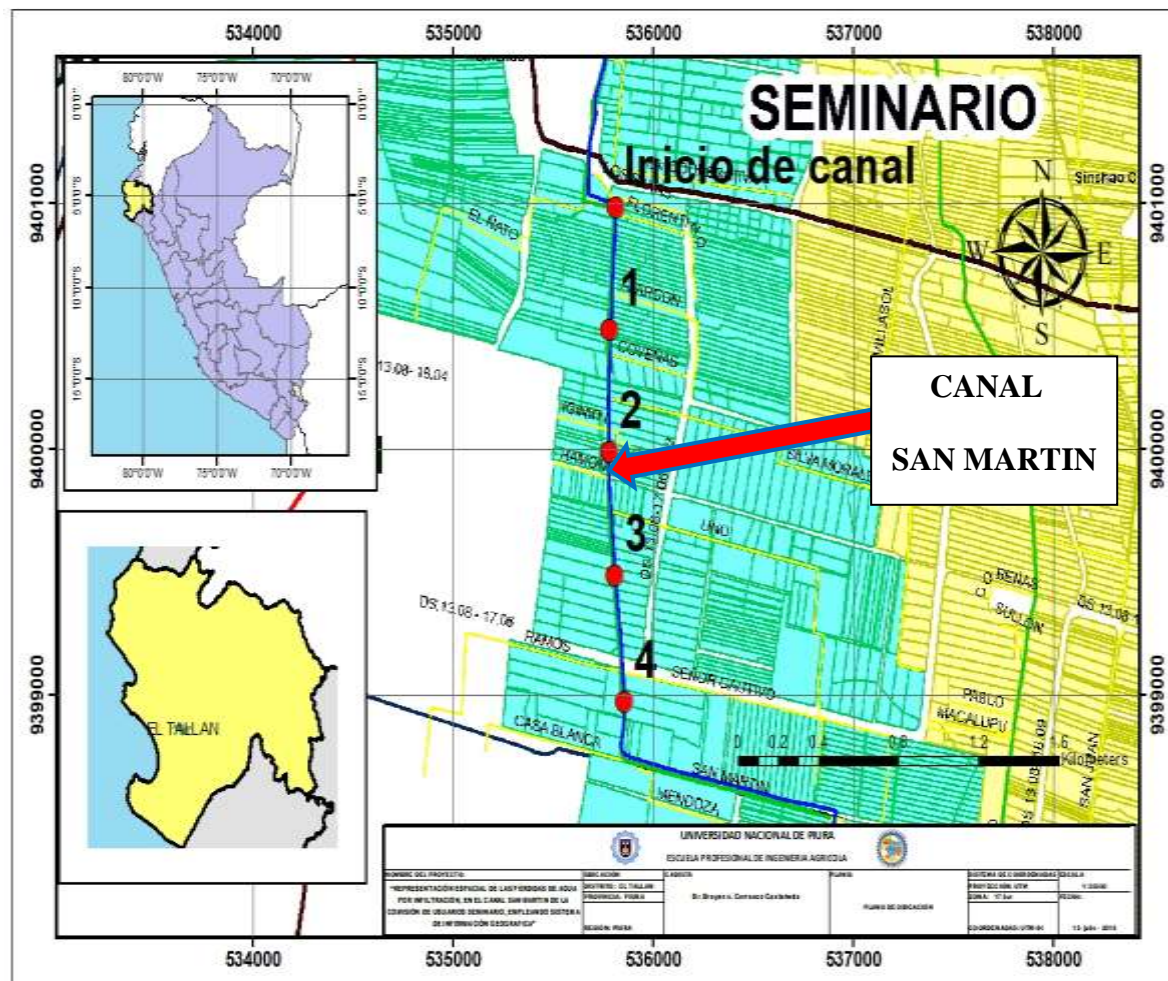
- Determinar las pérdidas por infiltración a lo largo del canal San Martín utilizando seis metodologías.
- Determinar las eficiencias de conducción a lo largo del Canal San Martín.
- Elaborar mapas temáticos de la representación espacial, de la variabilidad de las pérdidas por infiltración y eficiencias de conducción del canal San Martín de la Comisión de Usuarios Seminario.
- Identificar puntos críticos de pérdidas por infiltración a lo largo del Canal San Martín.

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Ubicación del área de Proyecto

El proyecto se ubica en el centro poblado el Tallán, perteneciente al distrito de la unión en la parte Nor Oeste de la provincia de Piura, departamento de Piura. El canal en estudio pertenece a la Comisión de Usuarios Seminario, al Valle del Medio y Bajo Piura, con coordenadas Este 535811 y coordenadas Norte 9400984.

FIGURA N°01: UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.



Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Gómez, Munive et al. (2013), En su trabajo de investigación titulado, “*Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas*”, el proceso de infiltración es un componente importante del ciclo hidrológico, que se define como la entrada de agua hacia abajo, en la totalidad o parte del suelo, interviniendo para ello factores como: textura, presencia de costras, compactación estructura, contenido de humedad, contenido de materia orgánica, tipo de cobertura vegetal, densidad aparente, presencia de grietas y porosidad. Numerosos estudios han demostrado que la infiltración de los suelos puede ser un buen indicador de la calidad y la salud del suelo. Concluye que no existe diferencia estadística significativa entre la tasa de infiltración de tierras forestales y agrícolas, pero si existen diferencias de la tasa de infiltración de tierras forestales y agrícolas respecto a la tasa de infiltración de tierras de pastoreo.

Álvarez y Castillo. (2015), En su tesis de investigación titulada, “*Evaluación de las pérdidas de agua por infiltración en un canal de tierra y su efecto económico en los costos de producción agrícola, sector valdivia alta -Ramal I Valle de Santa Catalina Moche- Trujillo*”, su importancia radica en que nos permite saber cuánta agua de la que se obtiene, capta o recoge con mucho esfuerzo en algunas cuencas, cuantificando en dinero, lo que se está perdiendo con cada metro cubico de agua que no se aprovecha bien, y así nos permite saber en forma rápida y sencilla, que cantidad de tierras se podría irrigar si el agua aprovechada, se llegara a utilizar en ampliar la frontera agrícola.

Gurovich, A. (1958), En su modelo simulativo para la predicción de la infiltración del agua en el suelo, menciona que el flujo de agua que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie es cuando se mantiene en contacto con ella, mientras la tasa entrada de agua penetra tan rápido como es suministra, por lo que su proceso es controlado por la cantidad existente.

Sin embargo, una vez se excede la tasa de infiltración por la cantidad de agua en la superficie del suelo, es la matriz del suelo la que determina infiltración.

2.2. BASES TEÓRICAS

Orsón W. (1995), destaca que la infiltración en los canales de riego constituye un problema grave, puesto que no solamente ocasiona pérdidas de agua, sino que crea problemas por desagües en los terrenos adyacentes y en las zonas más bajas. Existen varios métodos para calcular la filtración de los canales, entre ellos se encuentra el de cálculo del caudal de entrada y la salida, los medidores de filtración, el de embalsado, el de pozos, las pruebas de laboratorio para medir la permeabilidad de los suelos y métodos especiales entre los que se encuentra el que emplea la resistencia eléctrica y detección de sales naturales y radiactivas. La elección del método más adecuado depende de la profundidad y la velocidad de filtración. El método del cálculo del caudal de entrada y a la salida consiste en la medición de este a la entrada y a la salida de un tramo determinado del canal. La precisión de este procedimiento aumenta cuando mayor sea la diferencia entre ambos caudales. Se debe mantener el nivel del agua constante durante la medición y también hay que tener en cuenta la pérdida producida por la evaporación y las adiciones a causa de las precipitaciones.

También **Palacios, E. (1972)**, establece que las pérdidas en conducción pueden subdividirse de acuerdo con su origen en:

Las pérdidas por infiltración se producen principalmente en los cauces naturales de las corrientes y en los canales no revestidos, sin embargo, en algunos casos de revestimiento agrietados o con mampostería en mal estado, también puede ser de mucha consideración.

Las pérdidas debido a la evaporación son relativamente menores que las de infiltración, sin embargo, en muchos distritos de riego el área expuesta a la evaporación en los cauces naturales o canales con diques puede ser grande y en consecuencia las respectivas pérdidas por evaporación de importancia.

Las pérdidas por manejo se producen durante la distribución del agua, por causas atribuibles a errores del manejo del sistema. Como en la mayoría de los sectores de riego el agua se

distribuye de acuerdo con la demanda empírica, es necesario hacer un programa para solicitar el agua de las fuentes de abastecimiento, en estos programas se consideran factores de pérdidas que varían de acuerdo al estado de la red de distribución, sin embargo, lo más común es que son constantes y mayores que los reales, lo que propicia desperdicios, ya que se solicitan volúmenes mayores que los necesarios. Otros factores que inciden en estas pérdidas son el aprovechamiento deficiente de los volúmenes almacenados en los vasos de canales de riego y las variaciones en carga sobre las compuertas que también propician desperdicios de agua en la red.

Por otro lado, **Villon Béjar, M. (2003)**, sugiere que, para el cálculo de las pérdidas de infiltración en un canal, resulta de gran importancia para la evaluación económica de los canales que se van a ejecutar o de los que ya están ejecutados, el cálculo se efectúa con base en un examen de propiedades hidráulicas del suelo donde intervienen muchas variables.

Las pérdidas por infiltración en los canales reducen las eficiencias del sistema, ya que representan pérdidas de agua valiosa para los cultivos, además las pérdidas elevan el nivel freático, lo que causa efectos perjudiciales a las plantas, ayuda a la salinización del suelo se convierte en foco de enfermedades.

Factores que influyen en las pérdidas:

La permeabilidad del lecho del canal, la percolación depende de la permeabilidad del suelo y son tanto mayores cuando más poroso y grueso es el suelo.

Edad del canal, la pérdida de agua en los canales es generalmente máxima inmediatamente después de contruidos, y después disminuye gradualmente con el tiempo a medida que el fondo y los lados son cubiertos por el fango.

Las partículas de limo y arcillas llevadas por el agua son atraídas por las corrientes de percolación y se incrustan en los poros obstruyéndolos.

Caudal, las pérdidas son proporcionales menores en los canales grandes que en los pequeños.

Longitud del canal, pérdidas son directamente proporcionales a la longitud del canal de conducción.

De igual manera, **Luis Alfredo (1979)**, con el objetivo de reflejar lo más posible la situación real que se plantea en el sistema, se deben tener en cuenta las pérdidas que ocasionan la distribución y el transporte del agua dentro del sector o distrito.

Existen criterios y técnicas de estimación, tales como tablas generales por área y distancia, el nomograma de pérdidas por infiltración en canales basados en la ecuación de E.A Moritz, estimados para distintos tipos de suelo.

También, **Calvache, M. (1993)**, deduce que, las pérdidas de agua en los sistemas de conducción reducen la disponibilidad del agua para los cultivos a nivel predial, además influyen considerablemente a crear problemas de drenaje en predios locales e incrementan los requerimientos de mantenimiento a lo largo del canal.

En zonas regadas por gravedad las pérdidas totales de agua son del orden del 60% si el riego se realiza correctamente y llegan hasta el 80% si el riego no se efectúa de modo adecuado prescindiendo de las pérdidas que se producen en los embalses y en las conducciones principales, en las parcelas de riego se diferencian los siguientes tipos de pérdidas:

Pérdidas en la red de distribución: Depende del tipo de obra (cauces abiertos, revestido o en tierras, tuberías) y de las condiciones de su manejo.

Pérdidas en las unidades de riego: Varían principalmente en función al método de riego utilizando y la naturaleza del suelo regado.

Cuadro N° 01 Valores para la eficiencia de conducción en canales abiertos

Longitud del canal	Arena %	Franco %	Arcilla %	Canal Revestido %
Largo (más de 200 m)	60	70	80	95
Mediano (200 a 200m)	70	75	85	95
Corto (menos a 200m)	80	85	90	95

Fuente: Calvache M. 1993

De igual forma, **Suarez M. (2007)**, afirma que uno de los problemas que afrontan las juntas de usuarios en los valles, es que reducen su función tan solo a garantizar el agua en las tomas de los canales laterales de primer orden; sin ejercer mayor control de las pérdidas que se producen por infiltración, por fugas en las estructuras y por operación del sistema desde dichas tomas hasta entregar el agua a los usuarios en sus tomas prediales, trayendo consigo de esta manera, una inequidad en la distribución del agua, siendo perjudicados los usuarios que riegan en la parte baja a diferencia de aquellos que se encuentran en la parte alta del canal. Las eficiencias de conducción, distribución y operación son consideradas como tres de los principales parámetros de distribución y operación son consideradas como tres de los principales parámetros de distribución necesarios para realizar el control y regulación de los planes de distribución del agua de riego. La importancia de conocer estos parámetros radica, en que nos permitirán saber cuánta agua de la que se capta en el canal madre, les llega a los usuarios y es bien utilizada. Cuantificar en dinero, lo que se está perdiendo con cada metro cubico de agua que no se aprovecha bien, saber en forma rápida y sencilla, que cantidad de tierras se podría irrigar si el agua mal aprovechada, se llega a utilizar en ampliar mas la zona agrícola.

Programa Subsectorial de Irrigación PSI (2004). Nos manifiesta que la eficiencia de conducción permite evaluar el estado de operación y mantenimiento del canal principal o de derivación en el tramo desde la fuente de abastecimiento hasta que se empieza a distribuir el agua en los canales laterales L1, L2, L3, Ln. Es mayor cuanto mejor sea el estado del canal o cauce que conduce el agua. Esto quiere decir lo siguiente:

$$Ec = \frac{Vs}{VE} \quad \text{ó} \quad Ec(\%) = \frac{Vs}{VE} * 100$$

También cuando se utiliza caudales:

$$Ec = \frac{QS}{QE} \quad \text{ó} \quad Ec(\%) = \frac{QS}{QE} * 100$$

Otra forma de cálculo de la eficiencia de conducción es utilizando los conceptos de pérdidas mediante las siguientes expresiones:

$$VP = \frac{VE-VS}{VE} \quad \text{ó} \quad VP(\%) = \frac{VE-VS}{VE} * 100$$

$$QP = \frac{QE-QS}{QE} \quad \text{ó} \quad QP(\%) = \frac{QE-QS}{QE} * 100$$

$$Ec = 100 - Vp (\%) \quad \text{ó} \quad Ec = 100 - Qp (\%)$$

Donde:

EC= Pérdidas de conducción.

VP= Pérdidas de agua en el canal, expresadas en volumen.

QP= Pérdidas de agua que sale del canal o ramo de canal.

VS= Volumen de agua que entra al canal o tramo de canal.

VE= Volumen de agua que entra al canal o tramo de canal.

QS= Caudal que sale del canal o tramo de canal.

QE= Caudal que entra al canal o tramo de canal.

Las pérdidas en conducción pueden subdividirse de acuerdo a su origen en a) Por infiltración b) Por evaporación c) Por manejo del agua en la red de distribución.

- a) Las pérdidas por infiltración se producen principalmente en los cauces naturales de las corrientes y en los canales no revestidos; sin embargo, en algunos casos de revestimiento agrietados o con mampostería en mal estado, también pueden ser de mucha consideración.
- b) Las pérdidas debidas a la evaporación son relativamente menores que las de infiltración, sin embargo, en muchos sectores de riego el área ex puesta a la evaporación en los cauces naturales o canales con diques puede ser grande y en consecuencia las respectivas perdidas por evaporación de importancia.

c) Las pérdidas por manejo se producen durante la distribución del agua por causas atribuibles a errores del manejo del sistema. Como en la mayoría de los sectores de riego el agua se distribuye de acuerdo a la demanda empírica, es necesario hacer un programa para solicitar el agua de las fuentes de abastecimiento; en estos programas se consideran factores de pérdidas que varían de acuerdo al estado de la red de distribución, sin embargo, lo más común es que sean constantes y mayores que las reales, lo que propicia desperdicios ya que se solicitan volúmenes mayores que los necesarios otros factores que inciden en estas pérdidas son el aprovechamiento deficiente de los volúmenes almacenados en los vasos de los canales de riego y las variaciones en carga sobre las compuertas que también propician desperdicios de agua en la red. (Palacios, E. 1972).

Las pérdidas de filtración son las de más importancia, depende del perímetro mojado, longitud del canal, coeficiente de infiltración y carga hidráulica. A este nivel, se reportan perdidas que oscilan de 15 a 45% (Grassi, C. 1973).

Es experiencia común que una considerable cantidad de agua se pierde por filtración cuando circula por canales de tierra no revestido. Esto no puede ser contemplado con indiferencia, pues al no llegar toda el agua a las zonas de regadío se reduce la eficiencia del sistema. Además la infiltración en los canales no solamente representa pérdidas de agua valiosa para los cultivos, sino que invariablemente resulta aumento del nivel de aguas freáticas y pudiendo causar efectos perjudiciales para las plantas, salinización del suelo y focos de enfermedades en zonas tropicales exigiendo a menudo construcción de costosos sistemas de drenaje (Gilberto Sotelo, A. 2002).

Las pérdidas se producen en el canal principal entre la toma y los canales secundarios y entre estos y la zona de riego. También hay perdidas en el momento de aplicar el agua a los campos de cultivados, pero estos no son afectados por el revestimiento y es cuestión de los agricultores controlarlas aumentando la eficiencia de riego (Wynn Walker y Gaylord Skorgerboe, 1983)

También, **Chávez D. (1996)**, describe que las eficiencias de conducción dependen, en primer término, de las características de las estructuras del sistema de captación conducción, tanto en cuando se refiere a las pérdidas naturales como a las de operación. Las pérdidas naturales son, casi siempre, en los grandes canales menos significativos, que las operaciones. En un canal de 50km y 15m³/s de captación las pérdidas por evaporación e infiltración variara entre 0.2% hasta 0.3% con respecto al mismo sin revestir y un terreno arenoso gravoso (caso general en los valles costeros). Las pérdidas por operación y fallas humanas, en cambio, pueden ser muy grandes comparativamente en los canales de menor capacidad (laterales, sub laterales) puesto que suelen ser porcentualmente, muy importantes las cifras estadísticas resumen que la eficiencia de conducción es de 0.7 o 70% como promedio, con valores extremos 0.5 y 0.85 según el siguiente cuadro.

Cuadro N° 02 Tipo de Operación según los valores de eficiencia de conducción

Tipo de Operación	Ec	1/Ec
Eficiente	0.85	1.15
Promedio	0.7	1.40
Deficiente	0.5	2.00

Fuente: Chávez D. (1996)

Simón, A. (1994), menciona que la metodología a emplear en la evaluación de eficiencia de los canales es la hidrometría, la cual se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería, pertenecientes a un pequeño o gran sistema de riego en funcionamiento así también comprende el planear, ejecutar y procesar la información que se registra de un sistema de riego, sistema de una cuenca hidrográfica, sistema urbano de distribución. Con el propósito de conocer el volumen de agua disponible en la fuente y conocer el grado de eficiencia de la distribución.

Ven Te Chow. (1994), menciona que, un canal abierto es un conducto en el cual el agua fluye con una superficie libre, de acuerdo con su origen un canal puede ser natural ó artificial. Los canales artificiales son aquellos contruidos o desarrollados mediante esfuerzo humano: canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas a lo largo de carreteras, etc., así como canales modelos contruidos en el laboratorio con propósitos experimentales. Las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados. La aplicación de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirá, resultados bastante similares a las condiciones reales y por consiguiente son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseño.

Durango, J. (2001), dice que, el riego es una de las labores agronómicas de gran importancia que permite conseguir potencialmente el desarrollo agrícola de los cultivos incrementando sus rendimientos. El riego se puede definir como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo.

En un sentido más amplio, la irrigación puede definirse como la aplicación de agua al terreno con los siguientes objetivos:

- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
- Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
- Refrescar la temperatura del suelo y la atmosfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para su desarrollo vegetal.
- Disolver sales contenidas en el suelo.
- Reducir la probabilidad de formación de drenajes naturales.
- Dar las características óptimas de humedad de suelo.

2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

Riego por gravedad, es un método de riego donde el agua es aplicada en forma de corriente de agua desde una fuente abastecedora hacia los campos y aplicarla directamente a la superficie del suelo por gravedad, cubriendo total o parcialmente el suelo agrícola.

Pérdida de agua por infiltración, es la cantidad de agua que se infiltra en el suelo, mientras mayor sean las pérdidas la eficiencia del sistema es menor se puede medir en mm/hr, cm/hr etc.

Infiltración, Es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el interior.

Velocidad de infiltración, es el tiempo en que se demora en ingresar o infiltrar cierta cantidad de agua en el suelo se puede medir en mm/hr, cm/hr etc.

Saturación, el nivel de saturación es cuando todos los poros del suelo están llenos de agua, en esta condición no existen aire en los poros.

2.4. MARCO REFERENCIAL

La Autoridad Nacional del Agua (2009), “Ley de Recursos Hídricos N°29338”: Dice que, “El agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistema y cielos naturales que la sustentan y la seguridad de la Nación”.

El acceso al agua para la satisfacción de las necesidades primarias de la persona humana es prioritario por ser un derecho fundamental sobre cualquier uso, inclusive en épocas de escasez.

El estado crea mecanismo para la participación de los usuarios y de la población organizada en la toma de decisiones que afectan el agua en cuanto a calidad, cantidad, oportunidad u otro atributo del recurso. Respeta los usos y costumbres de las comunidades campesinas y nativas, así como su derecho utilizar las aguas que discurren por sus tierras, en tanto no se oponga a la ley. El uso y gestión sostenible del agua implica la integración equilibrada de los aspectos

socioculturales, ambientales y económicos en el desarrollo nacional, así como la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.

La ausencia de certeza absoluta sobre el peligro de daño grave o irreversible que amenace las fuentes de agua no constituye impedimento para adoptar medidas que impidan su degradación o extinción. La gestión integrada de los recursos hídricos está a cargo de la Autoridad Nacional del Agua y se sustenta en el aprovechamiento eficiente y su conservación, incentivando el desarrollo de una cultura de uso eficiente entre los usuarios y operadores.

El uso del agua debe ser óptima y equitativo, basado en su valor social, económico y ambiental, y su gestión debe ser integrada por cuenca hidrográfica y con participación de la población organizada. El agua constituye parte de los ecosistemas y es renovable a través de los procesos del ciclo hidrológico. El estado protege, supervisa y fiscaliza el agua en sus fuentes naturales o artificiales.

Ley de Recursos Hídricos N° 29338, del 2009, declaro en el título I, artículo 3°, que de interés Nacional y Necesidad Publica declarase de interés nacional y necesidad publica la gestión integrada de los recursos hídricos con el propósito de lograr eficiencia y sostenible en el manejo de las cuencas hidrográficas y los acuíferos para la conservación e incremento del agua, así como asegurar su calidad fomentando una nueva cultura del agua, para garantizar la satisfacción de la demanda de las actuales y futuras generaciones.

Asimismo, en el título II, artículo 12°.- Plantea los objetivos del sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos.

Son objetivos del sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos los siguientes:

- a) Coordinar y asegurar la gestión integrada y multisectorial, el aprovechamiento sostenible, la conservación, el uso eficiente y el incremento de los recursos hídricos, con estándares de calidad en función al uso respectivos.
- b) Promover la elaboración de estudios y la ejecución de proyectos y programas de investigación y capacitación en materia de gestión de recursos hídricos.

Autoridad Nacional del Agua (2015), tiene por objeto regular la constitución y el funcionamiento de las organizaciones de usuarios de agua en la ley 29338, ley de los Recursos Hídricos:

a) Junta de Usuarios

La Junta de usuarios se organiza sobre la base de un sistema hidráulico común de acuerdo a los criterios técnicos de la Autoridad Nacional.

- Funciones

- 1) Operar y mantener la infraestructura hidráulica a su cargo, promoviendo su desarrollo.
- 2) Distribución el agua de los recursos hídricos y a los programas de distribución aprobados.
- 3) Cobrar las tarifas de agua y administrar estos recursos públicos.

b) Comisión de Usuarios

Las comisiones de Usuarios constituyen las Juntas de Usuarios y se organizan de acuerdo con los criterios técnicos de la Autoridad Nacional.

- Funciones

- 1) Promover ante la junta de usuarios el plan de operación, mantenimiento y desarrollo de la infraestructura hidráulica del subsector hidráulico.
- 2) Realizar, por delegación de la junta de usuarios, las actividades siguientes:
 - Operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica del subsector hidráulico.
 - Distribución del agua en el subsector hidráulico.
 - Cobranza de tarifas, recaudaciones de retribución y otros aportes económicos, de acuerdo con las condiciones que establezca la junta de usuarios.
- 3) Supervisar las Actividades de los comités de usuarios que la integran, en cuanto se refiere a la operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica del subsector hidráulico.

c) Usuarios de agua

El usuario es toda persona natural o jurídica que posea un derecho de uso de agua otorgado por la Autoridad Nacional del Agua. Se incluye a los titulares de certificados nominativos que se deriven de una licencia de uso de agua en bloque.

Autoridad Nacional del Agua (2011)

El reglamento de operadores de la infraestructura hidráulica; norma la prestación de los servicios públicos de Suministro de agua y de Monitoreo y Gestión de Aguas Subterráneas, regulando la actuación del operador de la infraestructura hidráulica y del usuario que lo recibe.

2.5. HIPÓTESIS

2.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Con la aplicación ArcMap del Sistemas de Información Geográfica, se puede representar espacialmente las pérdidas de agua por infiltración del canal San Martín de la Comisión de Usuarios Seminario.

2.5.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS

- ✓ La evaluación empleando seis metodologías; Ingham, Etchverry, E. Moritz, Pavloski, Kostiakov, Davis - wilson permitirá cuantificar las pérdidas de agua por infiltración por tramos a lo largo del canal en estudio.
- ✓ Realizar aforos con correntómetro en cuatro puntos a lo largo del canal, permitirá conocer la variabilidad de las eficiencias de conducción al operar el canal con caudal mínimo, medio y máximo.
- ✓ La elaboración de mapas temáticos nos permitirá visualizar las pérdidas de agua por infiltración, eficiencias de conducción y de esta manera tomar decisiones correctivas para la optima operación del canal San Martin.
- ✓ Determinando las pérdidas de agua por infiltración y las eficiencias de conducción, identificaremos los puntos críticos del canal en estudio.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. ENFOQUE

La investigación del presente proyecto de tesis es de tipo cuantitativa y analítica en donde se va a determinar y representar espacialmente las pérdidas de agua por infiltración en el canal San Martín de la Comisión de Usuarios Seminario, además se realizará pruebas de infiltración, análisis de suelos y aforos con correntómetro en determinados puntos, para posteriormente los resultados obtenidos representarlos espacialmente a través de mapas temáticos, con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3.2. DISEÑO

El presente Proyecto es de tipo cuantitativo de tipo experimental, realizando pruebas de infiltración, análisis de suelos y aforos con correntómetros, utilizando cinco metodologías para el cálculo matemático, asociando y analizando resultados para determinar las pérdidas de agua por infiltración y representándolas espacialmente aplicando sistemas de información geográficas.

3.3. NIVEL

El presente proyecto es de nivel explicativo – causal, debido a que no solo se busca describir o determinar o acercarnos al problema, lo que se busca es encontrar las causas de la pérdida de agua por infiltración ya que esta involucra varios parámetros y análisis para llegar a determinar (cuantificar), para poder posteriormente ser representadas con la ayuda de los Sistemas de información geográfica.

3.4. TIPO

El proyecto de tesis es de tipo polivariable, debido a que existen más de una variable de investigación lo que hace que sea más experimental, asociando y analizando resultados para llegar a determinar cada una de las variables a emplear en las cinco metodologías para la cuantificación de las pérdidas de agua por infiltración.

3.5. SUJETO DE LA INVESTIGACIÓN

Se plantea una longitud 2km de canal para el proyecto, de los 7km de largo del canal San Martín que están sin revestir.

3.6. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Este trabajo de investigación se planificó en base a 3 etapas:

3.6.1. Etapa pre - campo

El presente proyecto tuvo en principio realizar las coordinaciones pertinentes para poder acceder al área de estudio, se solicitó y coordinó con el ingeniero encargado de Operación de la Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura, consecuentemente se destinó los primeros 2km del canal San Martín perteneciente a la Comisión de Usuarios Seminario para la ejecución de la investigación. Se prosiguió a la recopilación de información de las características generales del área de estudio.

3.6.1.1. Ubicación

A. Ubicación política

DEPARTAMENTO	: PIURA
PROVINCIA	: PIURA
DISTRITO	: EL TALLAN
LOCALIDAD	: EL TALLAN

B. Ubicación geográfica

LATITUD	: 5°25'9.23''
LONGITUD	: 80°40'36.27''
REGION NATURAL	: COSTA

Geográficamente se ubicada en la zona 17 M sur, con coordenadas 535811.04 m E y norte 9400984.00 m N, perteneciente al valle del Medio y Bajo Piura. Ver plano de ubicación y localización (ANEXO 1)

3.6.2. Etapa campo

En esta etapa se considero el estudio del canal San Martin con una longitud de 2km, subdividiendo en tramos cada 500m como propuesta del Asesor esto debido a su experiencia en estudios, diseño y construcción de canales.

3.6.2.1. Ubicación de puntos

Se estableciendo así un total de 4 puntos cada 500 m, con una longitud total de estudio de 2km.

3.6.2.2. Análisis de suelo

Se hicieron calicatas de 1m de profundidad para obtener muestras, a profundidades de 30cm, 60cm y 90cm. Se obtuvo 12 muestras de suelo, se llevaron al laboratorio del departamento académico de suelos de la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Piura para el análisis detallado correspondiente.

3.6.2.3. Pruebas de infiltración

Se realizarán pruebas de infiltración, utilizando el método del cilindro infiltrómetro, este consiste en la introducción del cilindro de metal de 2” de espesor, 25cm de diámetro y 40 cm de altura, se golpea con una comba sobre el tablón de madera que se pone sobre el cilindro con la finalidad de que se introduzca uniformemente en el suelo, el cilindro debe introducirse mínimo unos 15cm.

Esta introducción del cilindro debe efectuarse verticalmente a fin de evitar que se altere sustancialmente condiciones de la superficie del suelo evitando derrame del agua en la parte interna del cilindro. Luego se extenderá una lámina de plástico sobre la superficie de suelo interna del cilindro.

Una vez colocado el plástico en el cilindro, se procederá con el llenado de agua para sus posteriores diferentes lecturas del nivel de agua en el cilindro. Dicho nivel se medirá con la regla graduada previamente instalada. Las mediciones normales se continuaron con un intervalo de tiempo determinado, siendo al inicio estos intervalos de a 1 a 2

minutos aproximadamente y luego se fueron distanciando gradualmente de 5, 10, 15, 15, 20 y 30 minutos; hasta finalmente completar la prueba.

Cuando en el cilindro se ha infiltrado un lamina de 5cm se procederá a llenar nuevamente procurando alcanzar el mismo nivel inicial. Esta operación se realizó rápidamente, para lo cual se debe efectuar una lectura antes e inmediatamente después del llenado a fin de que el tiempo transcurrido sea el mínimo.

Se realizó la prueba de infiltración en los cuatro puntos establecidos.

Cuyos materiales utilizados son:

- Cilindro de acero o fierro galvanizado de 2mm de espesor, de 40 cm de diámetro.
- Una plancha metálica o tablón de madera.
- Escalímetro o regla graduada.
- Cinta adhesiva o ganchos sujetadores de la regla graduada.
- Cronómetro.
- Comba.
- Nivel de carpintero,
- Lámina de plástico.
- Hoja de registro.
- Baldes.
- Lápices o tizas.

3.6.2.4. Aforo con correntómetro

En cada punto ya marcado cada 500 metros y su respectiva limpieza de vegetación, se procede a poner un tablón para que sirva como puente y se pueda aforar esto se realizó con un correntómetro OTT- C31 por el método de un punto, esta operación se realizó en los cuatro puntos establecidos al inicio, nos permite cuantificar el caudal de ingreso y cuanto se pierde en el recorrido para determinar perdidas por conducción y la cantidad de agua perdida por infiltración en el canal.

3.6.3. Etapa de gabinete

3.6.3.1. Determinación de velocidades de infiltración

Con los datos obtenidos a través del método del cilindro infiltrómetro se efectúan los cálculos respectivos para determinar la velocidad de infiltración en cada punto a estudiar aplicando el método analítico con sus respectivas fórmulas.

3.6.3.2. Pruebas de aforos

Los registros de cada prueba de aforo se anotaron y calcularon en campo para tener una mayor certeza y conformidad, para esto se tomó en cuenta formatos de aforo brindados por la Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura, que permitieron calcular los caudales durante la fase de campo.

Cuadro N°03. Formato de Tabla aforo

JUNTA DE USUARIOS SECTOR HIDRAULICO MEDIO Y BAJO PIURA
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
REGISTRO DE AFORO CON CORRENTOMETRO

SONDEOS		CORRENTOMETRO				VELOCIDAD			SECCIÓN			DESCARGA	OBSERVACIONES
DEL PUNTO INICIAL (m)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE LA OBSERVACIÓN (m)	NÚMERO DE REV.	SEGUNDOS	EN EL PUNTO (m/s)	COEFICIENTE	MEDIA DEL TRAMO (m/s)	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD MEDIA (m)	ÁREA (m2)	PARCIAL (m3/s)		
1	2	METODO	3		4		5	6	7	8	9		
		410								(6x7)	(5x8)		
											AFORO N°		
ESTACIÓN:				MOLINETE: OTT - C31 N° 169047							PROMEDIO LECT. ESC:		
CORRIENTE:				OBSERVADOR: ING. LEONIDAS SILVA MECHATO - ING.VIRGILIO TUME MORALES							ÁREA TOTAL		
				PRINCIPIO:			LECTURA DE MIRA:		VELOCIDAD MEDIA				
				TERMINO:							DESCARGA TOTAL : 0.000 M3/S		

Fuente: Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura

De los datos vistos en el cuadro:

1= distancia de la sección del espejo de agua en m.

2= profundidad en cada sección del canal en m.

3= profundidad de observación que se multiplica por 0.4.

4= Velocidad dada en el centro del seccionamiento del cordel en 50 s que marca el correntómetro m/s.

5= velocidad media del tramo en m/s.

6= ancho de la sección en m.

7= profundidad media en m.

6= Velocidad dada en el centro del seccionamiento del cordel en 50 s que marca el correntómetro.

8= área hidráulica en m²

9= caudal total en m³/s.

- Para determinar el ancho de la sección, en primer lugar, se mide la distancia del espejo de agua, y se secciona en partes iguales según el ancho del canal, se obtiene las secciones del canal.
- Luego se hace lectura de profundidades en las secciones.
- Para determinar la profundidad media se encuentra el promedio de las tres primeras profundidades leídas en el sondeo.
- Para el cálculo del área se multiplica en ancho por la profundidad de la sección en cada punto.
- Donde el cálculo del caudal seria la multiplicación de la velocidad media del tramo por el área de la sección.

Una vez se hayan determinado los caudales, se procede con el cálculo de las perdidas por conducción entre tramos, se va a considerar a aquella cantidad de agua perdida como perdida por infiltración debido a que no hay fugas en compuertas y la evaporación es mínima, la longitud de los tramos en estudio es de 500m.

3.6.3.3. Determinación de pérdidas por infiltración

Para el cálculo de las pérdidas por infiltración se aplicarán seis metodologías, las cuales nos determinaran la cantidad de agua que se pierde por infiltración y poder evaluar cuales son los puntos más críticos a lo largo del canal en estudio.

Las pérdidas por infiltración se determinaron con las siguientes formulas

✓ **Formula de T. Ingham:**

$$P = 0.0025 * \sqrt{Y} * (b + 2ZY)$$

Donde:

P= pérdidas ($m^3/s - km$)

b= ancho (m)

Y= tirante (m)

Z= talud

✓ **Formula de Etcheverry**

$$P = 0.0064 * Ce * \sqrt{Y} * (b + 1.33 * Y * \sqrt{1 + Z^2})$$

Donde:

P= pérdidas, en ($m^3/s - km$)

Ce= coeficiente que representa la permeabilidad

b= ancho de solera, en (m)

Y= tirante, en (m)

Z= talud

Cuadro N° 04 Coeficiente de Permeabilidad según Etcheverry

Clase de suelo	Ce
Arcilloso	0.25 – 0.5
Franco arcilloso	0.50 – 0.75
Limoso y Francos	0.75 – 1.00
Franco arenoso	1.00 – 1.50
Arenas Finas	1.50 – 1.75
Arenas gruesas	2.00 – 2.50
Gravas	2.50 – 6.00

Fuente: Villón Béjar, M. (2005). Diseño de estructuras hidráulica

✓ **Formula de E. A. Moritz**

$$P = 0.0375 * Cm * A^{1/2} = 0.0375 * Cm * \frac{Q^{1/2}}{V^{1/2}}$$

Donde:

P= perdidas, en ($m^3/s - km$)

A= área (m^2)

Cm= coeficiente que depende del material donde se encuentre el canal

Q= caudal, en (m^3/s)

V= velocidad, m/s

Cuadro N° 05 Coeficientes de suelo según Moritz

Material	Cm
Franco arcillosos impermeables	0.08 – 0.11
Franco arcilloso semi-impermeable sobre arcilla compactada, a profundidad no mayo de 1m bajo el fondo del canal	0.11 – 0.15
Franco arcilloso ordinario, limo	0.15 – 0.23
Franco arcilloso con arena o grava, grava cementada (conglomerados), arcilla y arena	0.23 – 0.30
Franco arenoso	0.30 – 0.45
Suelo arenoso sueltos	0.45 – 0.55
Suelos arenosos con grava	0.55 – 0.75
Roca desintegrada con grava	0.75 – 0.90
Suelo con mucha grava	0.90 – 1.90

Fuente: Moritz E. A. Hidráulica de Canales.

✓ **Fórmula de Pavlovski**

$$P = 1000 k [b + 2 y (1 + Z)]$$

Donde:

P= pérdidas, en ($m^3/s - km$)

K= coeficiente de permeabilidad en m/s

b= ancho de solera, en m

Y= tirante, en m

Z= talud

Cuadro N° 06 Coeficientes de Permeabilidad según Pavlovski

Clase de Suelo	K (m/s)
Grava	$10^2 - 10^{-1}$
Arena Gruesa	$10^{-1} - 10^{-3}$
Arena Fina	$10^{-2} - 10^{-4}$
Tierra Arenosa	$10^{-3} - 10^{-5}$
Tierra Franco Arcillosa	$10^{-5} - 10^{-9}$
Tierra Franca	$10^{-4} - 10^{-7}$
Limo	$10^{-4} - 10^{-5}$
Arcilla	$10^{-5} - 10^{-8}$
Arcilla Compacta	$10^{-7} - 10^{-10}$

Fuente: Villón Bejar, B. (2005) Diseño de estructuras Hidráulicas.

✓ **Fórmula de Kostiaikov**

$$P=1000 *K*(b+2.4y*\sqrt{1 + Z^2})$$

Donde:

P= pérdidas, en ($m^3/s - km$)

K= coeficiente de permeabilidad en m/s

b= ancho de solera, en m

Y= tirante, en m

Z= talud

✓ **Fórmula de David - Wilson**

$$P = \frac{C_d * y^{1/3} * (b + 2 * y * \sqrt{1 + Z^2})}{8861 + 8 * \sqrt{V}}$$

Donde:

P= pérdidas, en ($m^3/s - km$)

Cd= coeficiente que representa la permeabilidad en m/s

b= ancho de solera, en m

Y= tirante, en m

Z= talud

V= velocidad media en m/s

Cuadro N° 07 Coeficiente de Permeabilidad según David - Wilson

Material	Cd
Hormigón de 10 cm de espesor	1
Arcilla de 15 cm de espesor	4
Enlucido de cemento de 2.5 cm	6
Suelo arcilloso	12
Suelo franco arcilloso	15
Suelo franco	20
Suelo franco arenoso	25
Suelo arcilloso limoso	30
Arena	40 - 70

Fuente: Villón Bejar, B. (2005) Diseño de estructuras Hidráulicas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTUDIOS BÁSICOS

4.1.1. Ubicación de puntos

Se ubicó cuatro puntos cada 500 m esto permite un estudio semidetallado. Ver resultados de ubicación de puntos en (ANEXO 1).

4.1.2. Análisis de suelos

De acuerdo con los resultados del análisis de caracterización de suelos se presenta las siguientes resultados de 12 muestras representativas. Ver resultados del análisis de suelos en (ANEXO 2).

Cuadro N°08 Textura de Suelo de Muestras Representativas

N° MUESTRAS	RESULTADOS			TEXTURA
	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	
1	87	6	7	ARENA FRANCA
2	50	30	20	FRANCO
3	30	46	24	FRANCO
4	53	30	17	FRANCO ARENOSO
5	92	4	4	ARENA
6	61	27	12	FRANCO ARENOSO
7	73	9	5.9	FRANCO ARENOSO
8	63	24	13	FRANCO ARENOSO
9	30	34	36	FRANCO ARCILLOSO
10	64	24	12	FRANCO ARENOSO
11	70	20	10	FRANCO ARENOSO
12	58	30	12	FRANCO ARENOSO

Se argumenta que los tipos de suelos encontrados en las muestras representativas a lo largo del canal en estudio son diferentes y con presencia de arena en algunas muestras esto nos sirve en primera instancia como referencia y saber que en aquellos puntos la perdida por infiltración va ser mayor a comparación con la pérdida por infiltración en suelos franco arcilloso.

4.1.3. Prueba de infiltración

Los cálculos pertinentes basados en los datos obtenidos en la prueba de infiltración en cuatro puntos de estudio realizado con el método del cilindro infiltrometro, nos brinda las siguientes velocidades.

Cuadro N° 09 Cuadro de Velocidades de Infiltración

	0+500	1+000	1+500	2+000
Tb(min)	221.4288	207.5511	240.5161	239.1153
lb (cm/h)	2.4378	2.8746	2.6450	2.1082
lb (mm/h)	24.38	28.75	26.45	21.08

De los análisis determinamos, que de los cuatro puntos en estudio dos de ellos presentan suelos con velocidades de infiltración muy alta producto de ser suelos arenosos, lo cual son suelos inapropiados para la conducción de agua, estos no retienen la humedad con facilidad, lo que nos causa pérdida de agua por infiltración considerable. Ver resultados en (ANEXO 3).

4.2. Determinación de eficiencia de conducción

La eficiencia de conducción representa la capacidad de las obras hidráulicas para conducir el servicio de agua, según la distribución que solicita el usuario. En su evaluación ha permitido diagnosticar y cuantificar las diferentes pérdidas que ocurren en el canal, por diferentes factores influyentes en la conducción. Para el cálculo de la eficiencia de conducción se realizaron un total de 03 pruebas de aforos, estas pruebas se hicieron en la misma progresiva para establecer una eficiencia de conducción satisfactoria. La determinación de la eficiencia de conducción, se empezó evaluando y ubicando los puntos de aforo, luego se determinó el caudal de entrada y salida en cada tramo mediante aforos con el correntómetro OTT-C31 durante la campaña grande entre los meses de marzo a julio del presente año.

Una vez ubicado los 4 puntos de aforos, se procedió a aforar determinando el caudal de entrada en el canal San Martín y cada caudal que pasa en cada uno de los 4 puntos establecidos. Ver resultados en (ANEXO 4).

Cálculo de la eficiencia de conducción por tramos en el Canal San Martín

Prueba de Aforo N° 1

$$Ec (\%) = \frac{QS}{QE} * 100$$

$$Ec (\%) = \frac{874}{900} * 100 = 97.11 \%$$

Cuadro N° 10 Eficiencia de Conducción por Tramos del Canal San Martín – Prueba N° 01

N° DE PRUEBA	TRAMO	PROGRESIV A (KM)	CAUDAL DE ENTRADA (M3/S)	CAUDAL DE SALIDA (M3/S)	EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN POR TRAMOS (%)	EFICIENCIA DE CONDUCCION DEL CANAL (%)
1	1	0+500	0.900	0.874	97.11	72.22
	2	1+000	0.874	0.783	89.59	
	3	1+500	0.783	0.695	88.76	
	4	2+000	0.695	0.650	93.53	

Prueba de Aforo N° 2

$$Ec (\%) = \frac{QS}{QE} * 100$$

$$Ec (\%) = \frac{654}{750} * 100 = 87.20 \%$$

Cuadro N° 11 Eficiencia de Conducción por Tramos del Canal San Martín – Prueba N°02

N° DE PRUEBA	TRAMO	PROGRESIV A (KM)	CAUDAL DE ENTRADA (M3/S)	CAUDAL DE SALIDA (M3/S)	EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN (%)	EFICIENCIA DE CONDUCCION DEL CANAL (%)
2	1	0+500	0.750	0.654	87.20	56.27
	2	1+000	0.654	0.570	87.16	
	3	1+500	0.570	0.505	88.60	
	4	2+000	0.505	0.422	83.56	

Prueba de Aforo N° 3

$$Ec (\%) = \frac{QS}{QE} * 100$$

$$Ec (\%) = \frac{1.050}{1120} * 100 = 93.75 \%$$

Cuadro N° 12 Eficiencia de conducción por tramos del Canal San Martin – Prueba N°03

N° DE PRUEBA	TRAMO	PROGRESIV A (KM)	CAUDAL DE ENTRADA (M3/S)	CAUDAL DE SALIDA (M3/S)	EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN (%)	EFICIENCIA DE CONDUCCION DEL CANAL (%)
3	1	0+500	1.120	1.050	93.75	74.11
	2	1+000	1.050	0.986	93.90	
	3	1+500	0.986	0.94	95.33	
	4	2+000	0.940	0.830	88.30	

Se determinó las eficiencias de conducción por tramos y a lo largo del canal San Martin, como resultado de esto se observa que mientras menor sea el caudal conducido por el canal mayores serán las perdidas, y todo lo contrario cuando es un caudal mayor.

4.3. Determinación de las pérdidas por infiltración

Las pérdidas por infiltración en un canal, resulta de gran importancia para la determinación de la eficiencia de conducción y sustentabilidad económica respecto a la distribución eficiente del recurso hídrico. Se realizó muestreo de suelo a profundidades de 30, 60 y 90 cm, obtenidas en el eje del canal, un total de 12 muestras se obtuvo las cuales fueron llevadas al laboratorio del departamento académico de suelos de la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Piura para el análisis correspondiente.

Se determinó la textura del suelo, mediante el método del triángulo textural el cual se basa en el sistema que aplica el USDA según el tamaño de las partículas, en el que se emplea la clasificación siguiente:

- Arena, todas las partículas cuyo tamaño varía de 0.05 – 2mm
- Limo, todas las partículas cuyo tamaño varía de 0.002 a 0.05mm
- Arcilla, todas las partículas de menos de 0.002mm

De los resultados obtenidos en laboratorio, según las muestras obtenidas en cada tramo se determinó clases texturales que se detallan en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 13 Tipo de suelo y Análisis textural de muestras Representativas

TRAMO	PROGRESIVA	TIPO DE SUELO	ANÁLISIS TEXTURAL	
1	0+500	FRANCO ARENOSO	% ARENA	55.67
			% LIMO	27.33
			% ARCILLA	17
2	1+000	FRANCO ARENOSO	% ARENA	68.67
			% LIMO	20.33
			% ARCILLA	11.03
3	1+500	FRANCO ARENOSO	% ARENA	59.33
			% LIMO	22.33
			% ARCILLA	18.3
4	2+000	FRANCO ARENOSO	% ARENA	64
			% LIMO	24.67
			% ARCILLA	11.33

Fuente: Resultados de laboratorio de la facultad de Agronomía.

Se determinó las pérdidas por infiltracion realizando tres pruebas de aforo con diferentes caudales.

Cuadro N° 14. Datos para el procesamiento de las pérdidas por infiltración. Prueba N° 01

Primera Prueba de Aforo

N° DE PRUEBA	PUNTOS DE MUESTREO	PROGRESIVA (KM)	COORDENADAS		CAUDAL m3/s	TIRANTE (m)	ESPEJO DE AGUA (m)	BASE MENOR (m)
			ESTE	NORTE				
1	1	0+500	535781	9400490	0.874	0.92	3.84	2.88
	2	1+000	535780	9399988	0.783	0.87	3.64	2.73
	3	1+500	535807	9399488	0.695	0.92	4.04	3.03
	4	2+000	535857	9398975	0.650	0.96	3.63	2.72

Para el cálculo de la pendiente se ha trabajado planteando el respectivo caudal por cada tramo.

Caudal del Tramo 1:

$$Q = 0.874 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Cálculo del Talud. -

De donde se escoge:

$$a = T - b$$

Siendo:

T = espejo de agua del canal en m.

b = base menor del canal en m.

Entonces:

$$a = 3.84 - 2.88 = 0.96$$

$$X = \frac{a}{2} = \frac{0.96}{2} = 0.48$$

$$Z = \frac{x}{y}$$

$$Z = \frac{0.48}{0.92} = 0.52$$

- **Cálculo del Área.** -

$$A = \left(\frac{B+b}{2} \right) * y$$

Dónde:

B= espejo del canal (m).

b= base menor (m).

y= tirante (m)

$$A = \left(\frac{3.84+2.88}{2} \right) * 0.92$$

$$A = 3.09 \text{ m}^2$$

- **Cálculo del Perímetro.** -

$$P = b + 2y * \sqrt{1 + Z^2}$$

Dónde:

b= base menor (m).

y= tirante (m).

Z= talud.

$$P = 2.88 + 2 * 0.92 * \sqrt{1 + 0.52^2}$$

$$P = 4.95 \text{ m}$$

- **Cálculo del Radio.** -

$$R = \frac{A}{P}$$

Dónde:

A= área (m²).

P= perímetro (m).

$$R = \frac{3.09}{4.95} = 0.62 \text{ m}$$

- **Cálculo de la Pendiente.** -

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

De donde:

$$S = \left(\frac{Q * n}{A * R^{2/3}} \right)^2$$

Dónde:

A= área en m².

n= rugosidad del canal.

Q= caudal en m³/s.

R= radio hidráulico en m.

$$S = \left(\frac{0.874 * 0.033}{3.09 * 0.62^{2/3}} \right)^2 = 0.00015 \text{ m/m}$$

Cuadro N°15 Valores del Coeficiente de Rugosidad

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
a. En tierra, recto y uniforme			
Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025
Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento			
Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
Malezas densas o plantas acuáticas en canales	0.030	0.035	0.040
Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
c. Excavado con pala o dragado			
Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.600
d. Cortes en roca			
Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales			
Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120
Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.500	0.080
Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140

Fuente: Te Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales Abiertos*

De los cálculos determinados, en el cuadro N°16 representa que la sección del canal es irregular. Para las pruebas de infiltración se estableció cuatro tramos, según el comportamiento tanto en velocidad y pendiente se puede deducir que para velocidades bajas entre 0.213 y 0.227 m/s provoca problemas por embancamiento y disminución de la capacidad de conducción lo que origina la reducción de la sección hidráulica del canal.

Cuadro N°16. Características Hidraulicas. Prueba N°01

N° DE PRUEBA	PUNTOOS DE MUESTREO	PROGRESIVA (KM)	COORDENADAS		CAUDAL m ³ /s	Y (m)	T (m)	b (m)	Z	A (m)	P (m)	R.H (m)	V (m/s)	S
			ESTE	NORTE										
1	1	0+500	535781	9400490	0.874	0.92	3.84	2.88	0.52	3.09	4.95	0.62	0.274	0.00015
	2	1+000	535780	9399988	0.783	0.87	3.64	2.73	0.53	2.77	4.65	0.59	0.285	0.00018
	3	1+500	535807	9399488	0.695	0.92	4.04	3.03	0.55	3.25	5.13	0.64	0.213	0.00010
	4	2+000	535857	9398975	0.650	0.96	3.63	2.72	0.48	3.05	4.85	0.63	0.227	0.00011

A partir de los cálculos anteriores se procesó dicha información en el software HCanales en la versión 3.0 para el cálculo de las pérdidas por infiltración.

A. Primer Tramo:

Se calculó con un tipo de suelo franco arenoso, en una longitud de 500m, según la figura N°02 se muestra que para un caudal de 0.874 m³/s, la pérdida por infiltración en este tramo es de 0.0103 m³/s, alcanzando un caudal final de 0.864 m³/s, con una pérdida promedio 0.020529 m³/s-km según las fórmulas establecidas en el software.

Figura N°02. Pérdidas por Infiltración Tramo I – Prueba N°01

Datos:

Caudal (Q): m³/s

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m

Longitud canal (L): Km

Resultados hidráulicos parciales:

Trante normal (y): m

Area hidráulica (A): m²

Perímetro (p): m

Espejo de agua (T): m

Velocidad (v): m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:

Pavlovski - Kostiaikov | Davis - Wilson

Etcheverry | Punjab | Moritz

Material del lecho del canal:

Coefficiente Moritz:

Pérdidas m³/s-km:

Pérdidas:

Fórmula	m ³ /s-km
Ingham	0.009386
Etcheverry	0.033407
Punjab	0.01854
Moritz	0.010022
Pavlovski	0.029048
Kostiaikov	0.027450
Davis-Wilson	0.013862

Descartar:

☐ Ingham

☐ Etcheverry

☒ Punjab

☐ Moritz

☐ Pavlovski

☐ Kostiaikov

☐ Davis-Wilson

Pérdidas promedio/m (P): m³/s-km

Canales revestidos



Caudales resultantes:

Q perdido: m³/s

Q final: m³/s

% pérdidas: %

Fuente: Elaboración propia

B. Segundo Tramo:

Se calculó con un tipo de suelo franco arenoso, en una longitud de 500m, según la figura N°03 muestra que para un caudal de 0.783m³/s, el caudal perdido es de 0.0094 m³/s, alcanzando un caudal final de 0.774 m³/s, con una pérdida promedio 0.018773 m³/s-km según las fórmulas establecidas en el software.

Figura N°03. Pérdidas por Infiltración Tramo II – Prueba N°01

Datos:
 Caudal (Q): m³/s
 Ancho de solera (b): m
 Talud (Z):
 Rugosidad (n):
 Pendiente (S): m/m
 Longitud canal (L): Km

Resultados hidráulicos parciales:
 Tirante normal (y): m
 Área hidráulica (A): m²
 Perímetro (p): m
 Espejo de agua (T): m
 Velocidad (v): m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:
Pavlovski - Kostiakov | Davis - Wilson
Etcheverry | Punjab | Moritz
 Material del lecho del canal:

 Coeficiente Moritz:
 Pérdidas m³/s-km:

Pérdidas:

Fórmula	m ³ /s-km
Ingham	0.008458
Etcheverry	0.029918
Punjab	0.01854
Moritz	0.008975
Pavlovski	0.027109
Kostiakov	0.025612
Davis-Wilson	0.012565

Descartar:
☐ Ingham
☐ Etcheverry
☒ Punjab
☐ Moritz
☐ Pavlovski
☐ Kostiakov
☐ Davis-Wilson

Pérdidas promedio/km (P): m³/s-km

Canales revestidos


Caudales resultantes:
 Q perdido: m³/s
 Q final: m³/s
 % pérdidas: %

Fuente: Elaboración propia

C. Tercer Tramo:

Se calculó con un tipo de suelo franco arenoso, en una longitud de 500 m, según la figura N°04 muestra que para un caudal de 0.695 m³/s, el caudal perdido es de 0.0105 m³/s alcanzando un caudal final de 0.685 m³/s, con una pérdida promedio 0.020998 m³/s-km según las fórmulas establecidas en el software.

Figura N°04. Pérdidas por Infiltración Tramo III – Prueba N°01

Datos:

Caudal (Q): m³/s

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m

Longitud canal (L): Km

Resultados hidráulicos parciales:

Tirante normal (y): m

Area hidráulica (A): m²

Perímetro (p): m

Espejo de agua (T): m

Velocidad (v): m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:

Pavlovski - Kostiakov | Davis - Wilson

Etcheverry | Punjab | Moritz

Material del lecho del canal:

Coefficiente Punjab:

Pérdidas m³/s-km:

Pérdidas:

Fórmula	m ³ /s-km
Ingham	0.009723
Etcheverry	0.034081
Punjab	0.016295
Moritz	0.010224
Pavlovski	0.029764
Kostiakov	0.028080
Davis-Wilson	0.014114

Descartar:

☐ Ingham

☐ Etcheverry

☒ Punjab

☐ Moritz


☐ Pavlovski

☐ Kostiakov

☐ Davis-Wilson

Pérdidas promedio/km (P): m³/s-km

Canales revestidos



Caudales resultantes:

Q perdido: m³/s

Q final: m³/s

% pérdidas: %

Fuente: Elaboración propia

D. Cuarto Tramo:

Se calculó con un tipo de suelo franco arenoso, en una longitud de 500 m, según la figura N°05 muestra que para un caudal de 0.650 m³/s, el caudal perdido es de 0.0096 m³/s alcanzando un caudal final de 0.640 m³/s, con una pérdida promedio 0.019142 m³/s-km según las fórmulas establecidas en el tramo.

Figura N°05. Pérdidas por Infiltración Tramo IV – Prueba N°01

Datos:

Caudal (Q): 0.650 m³/s
 Ancho de solera (b): 2.72 m
 Talud (Z): 0.48
 Rugosidad (n): 0.033
 Pendiente (S): 0.00011 m/m
 Longitud canal (L): 0.5 Km

Resultados hidráulicos parciales:

Tirante normal (y): 0.9066 m
 Área hidráulica (A): 2.478736756 m²
 Perímetro (p): 4.7312 m
 Espejo de agua (T): 3.5903 m
 Velocidad (v): 0.2272 m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:

Pavlovski - Kostiaikov | Davis - Wilson
 Etcheverry | Punjab | Moritz
 Material del lecho del canal: franco arenoso
 Coeficiente permeabilidad: 1.25
 Pérdidas m³/s-km: 0.030906

Pérdidas:

Fórmula	m ³ /s-km
Ingham	0.008546
Etcheverry	0.030906
Punjab	0.015693
Moritz	0.009272
Pavlovski	0.027288
Kostiaikov	0.025924
Davis-Wilson	0.012914

Descartar:
☐ Ingham
☐ Etcheverry
☒ Punjab
☐ Moritz
☐ Pavlovski
☐ Kostiaikov
☐ Davis-Wilson

Pérdidas promedio/km (P): 0.019142 m³/s-km

Canales revestidos

Caudales resultantes:

Q perdido: 0.0096 m³/s
 Q final: 0.6404 m³/s
 % pérdidas: 1.48 %

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 17. Pérdidas por Infiltración – Prueba N°01

N° DE PRUEBA	TRAMO	PROGRESIVA (KM)	CAUDAL	PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN (m ³ /s-km)					
				Ingham	Etcheverry	Moritz	Pavlovski	kostiaikov	Davis - wilson
1	1	0+500	0.874	0.009386	0.033407	0.010022	0.029048	0.02745	0.013862
	2	1+000	0.783	0.008458	0.029918	0.018540	0.027109	0.025612	0.012565
	3	1+500	0.695	0.009723	0.034081	0.102240	0.029764	0.028080	0.014114
	4	2+000	0.650	0.008546	0.030906	0.009272	0.027288	0.025924	0.012914
	Σ =			0.036113	0.128312	0.140074	0.113209	0.107066	0.053455

Fuente: Elaboración Propia

Se determinó pérdidas por infiltración con seis metodologías, con la ayuda del software Hcanales versión 3.0, los métodos Etcheverry y Moritz obtuvieron mayores pérdidas de ambos métodos se considera más preciso Moritz debido a en los cálculos permite elegir como tipo de suelo franco arenoso, que es el tipo de suelo de acuerdo a los análisis, sin embargo el método Pavlovski solo permite ingresar como tipo de suelo tierra arenosa que es lo más próximo a franco arenoso eso hace que no se considere un método preciso, no es la realidad del problema.

Según los cálculos anteriores por tramo se ha estimado que la pérdida por infiltración de acuerdo a las características hidráulicas del canal suma un total de 0.0398 m³/s en 2km de longitud del

canal, esto resulta de la infiltración que se presenta entre la progresiva 0+500 a 1+500, el tipo de suelo es franco arenoso, resulta que sus secciones hidráulicas son más grandes, logrando alcanzar un promedio de 0.0398 m³/s.

Cuadro N°18. Características Hidráulicas – Prueba N°02

Segunda Prueba de Aforo

N° DE PRUEBA	PUNTOOS DE	PROGRESIVA (KM)	COORDENADAS		CAUDAL m ³ /s	Y (m)	T (m)	b (m)	Z	A (m)	P (m)	R.H (m)	V (m/s)	S
			ESTE	NORTE										
2	1	0+500	535781	9400490	0.654	0.83	3.33	2.496	0.5	2.52	4.36	0.58	0.256	0.00015
	2	1+000	535780	9399988	0.570	0.88	3.15	2.364	0.44	2.43	4.28	0.57	0.236	0.00013
	3	1+500	535807	9399488	0.505	0.80	3.55	2.664	0.56	2.48	4.49	0.55	0.204	0.00010
	4	2+000	535857	9398975	0.422	0.77	3.18	2.382	0.52	2.14	4.12	0.53	0.196	0.00010

A partir de los cálculos anteriores se procesó dicha información en el software HCanales en la versión 3.0 para el cálculo de las pérdidas por infiltración.

E. Primer Tramo:

Según el anexo, para el cálculo de las pérdidas por infiltración se ha trabajado con un tipo de suelo arena franca, en una longitud de 500 m, según la figura N° 06 muestra que para un caudal de 0.654 m³/s, el caudal perdido es de 0.0089 m³/s, alcanzando un caudal final de 0.645 m³/s, con una pérdida promedio 0.017774 m³/s-km según las fórmulas establecidas.

Figura N°06. Pérdidas por Infiltración Tramo I – Prueba N°02

Canales en tierra		Canales revestidos																	
Datos: Caudal (Q): <input type="text" value="0.654"/> m ³ /s Ancho de solera (b): <input type="text" value="2.496"/> m Talud (Z): <input type="text" value="0.50"/> Rugosidad (n): <input type="text" value="0.033"/> Pendiente (S): <input type="text" value="0.00015"/> m/m Longitud canal (L): <input type="text" value="0.5"/> Km																			
Datos del lecho del canal: Pavlovski - Kostiaikov Davis - Wilson Etcheverry Punjab Moritz Material del lecho del canal: <input type="text" value="Suelos comunes (medios)"/> Coeficiente Punjab: <input type="text" value="0.02"/> Pérdidas m ³ /s-km: <input type="text" value="0.015747"/>																			
Resultados hidráulicos parciales: Tirante normal (y): <input type="text" value="0.8702"/> m Área hidráulica (A): <input type="text" value="2.295748615"/> m ² Perímetro (p): <input type="text" value="4.4418"/> m Espejo de agua (T): <input type="text" value="3.3662"/> m Velocidad (v): <input type="text" value="0.2564"/> m/s																			
Pérdidas: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Fórmula</th> <th>m³/s-km</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ingham</td> <td>0.007850</td> </tr> <tr> <td>Etcheverry</td> <td>0.028284</td> </tr> <tr> <td>Punjab</td> <td>0.015747</td> </tr> <tr> <td>Moritz</td> <td>0.008485</td> </tr> <tr> <td>Pavlovski</td> <td>0.025788</td> </tr> <tr> <td>Kostiakov</td> <td>0.024397</td> </tr> <tr> <td>Davis-Wilson</td> <td>0.011959</td> </tr> </tbody> </table>				Fórmula	m ³ /s-km	Ingham	0.007850	Etcheverry	0.028284	Punjab	0.015747	Moritz	0.008485	Pavlovski	0.025788	Kostiakov	0.024397	Davis-Wilson	0.011959
Fórmula	m ³ /s-km																		
Ingham	0.007850																		
Etcheverry	0.028284																		
Punjab	0.015747																		
Moritz	0.008485																		
Pavlovski	0.025788																		
Kostiakov	0.024397																		
Davis-Wilson	0.011959																		
Descartar: <input type="checkbox"/> Ingham <input type="checkbox"/> Etcheverry <input checked="" type="checkbox"/> Punjab <input type="checkbox"/> Moritz <input type="checkbox"/> Pavlovski <input type="checkbox"/> Kostiakov <input type="checkbox"/> Davis-Wilson																			
Pérdidas promedio/km (P): <input type="text" value="0.017794"/> m ³ /s-km																			
Caudales resultantes: Q perdido: <input type="text" value="0.0089"/> m ³ /s Q final: <input type="text" value="0.6451"/> m ³ /s % pérdidas: <input type="text" value="1.36"/> %																			

Fuente: Elaboración propia

F. Segundo Tramo:

Según el anexo, para el cálculo de las pérdidas por infiltración se ha trabajado con un tipo de suelo franco arenoso, en una longitud de 500 m, según la figura N° 07 muestra que para un caudal de 0.540 m³/s, la pérdida por infiltración en este tramo es de 0.0086 m³/s, alcanzando un caudal final de 0.561 m³/s, con una pérdida promedio 0.017116 m³/s-km según las fórmulas establecidas.

Figura N°07. Pérdidas por Infiltración Tramo II – Prueba N°02

Datos:

Caudal (Q): m³/s

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m

Longitud canal (L): Km

Resultados hidráulicos parciales:

Tirante normal (y): m

Area hidráulica (A): m²

Perímetro (p): m

Espejo de agua (T): m

Velocidad (v): m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:

Pavlovski - Kostikov | Davis - Wilson

Etcheverry | Punjab | Moritz

Material del lecho del canal:

Coefficiente Punjab:

Pérdidas m³/s-km:

Pérdidas:

Fórmula	m ³ /s-km
Ingham	0.007351
Etcheverry	0.027298
Punjab	0.014574
Moritz	0.008189
Pavlovski	0.024715
Kostikov	0.023571
Davis-Wilson	0.011570

Descartar:

☐ Ingham

☐ Etcheverry

☒ Punjab

☐ Moritz


☐ Pavlovski

☐ Kostikov

☐ Davis-Wilson

Pérdidas promedio/km (P): m³/s-km

Canales revestidos



Caudales resultantes:

Q perdido: m³/s

Q final: m³/s

% pérdidas: %

Fuente: Elaboración propia

G. Tercer Tramo:

Según el anexo, para el cálculo de las pérdidas por infiltración se ha trabajado con un tipo de suelo franco arenoso, en una longitud de 500 m, según la figura N°08 muestra que para un caudal de 0.695 m³/s, el caudal perdido es de 0.0089 m³/s alcanzando un caudal final de 0.496 m³/s, con una pérdida promedio 0.017698 m³/s-km según las fórmulas establecidas.

Figura N°08. Pérdidas por Infiltración Tramo III – Prueba N°02

Datos:

Caudal (Q): m³/s

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m

Longitud canal (L): Km

Resultados hidráulicos parciales:

Tirante normal (y): m

Area hidráulica (A): m²

Perímetro (p): m

Espejo de agua (T): m

Velocidad (v): m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:

Pavlovski - Kostikov | Davis - Wilson

Etcheverry | Punjab | Moritz

Material del lecho del canal:

Coefficiente Punjab:

Pérdidas m³/s-km:

Pérdidas:

Fórmula	m ³ /s-km
Ingham	0.007935
Etcheverry	0.027690
Punjab	0.013614
Moritz	0.008307
Pavlovski	0.026003
Kostikov	0.024518
Davis-Wilson	0.011738

Pérdidas promedio/km (P): m³-s-km

Canales revestidos



Caudales resultantes:

Q perdido: m³/s

Q final: m³/s

% pérdidas: %

Descartar:

☐ Ingham

☐ Etcheverry

☒ Punjab

☐ Moritz

☐ Pavlovski

☐ Kostikov

☐ Davis-Wilson

Fuente: Elaboración propia

H. Cuarto Tramo:

Según el anexo, para el cálculo de las pérdidas por infiltración se ha trabajado con un tipo de suelo franco arenoso, en una longitud de 500 m, según la figura N°09 muestra que para un caudal de 0.422 m³/s la pérdida por infiltración en este tramo es de 0.0081 m³/s alcanzando un caudal final de 0.412 m³/s, con una pérdida promedio 0.016080 m³/s-km según las fórmulas establecidas.

Figura N°09. Pérdidas por Infiltración Tramo IV – Prueba N°02

Datos:

Caudal (Q): **0.422** m³/s
 Ancho de solera (b): **2.382** m
 Talud (Z): **0.52**
 Rugosidad (n): **0.033**
 Pendiente (S): **0.00010** m/m
 Longitud canal (L): **0.5** Km

Resultados hidráulicos parciales:

Tirante normal (y): **0.7723** m
 Área hidráulica (A): **2.698364228** m²
 Perímetro (p): **4.1229** m
 Espejo de agua (T): **3.1852** m
 Velocidad (v): **0.1963** m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:

Etcheverry | Punjab | Moritz |
 Pavlovski - Kostikov | Davis - Wilson |

Material del lecho del canal: **Suelo franco arenoso**
 Coeficiente permeabilidad m/s: **25**
 Pérdidas m³/s-km: **0.010668**

Pérdidas:

Fórmula	m ³ /s-km
Ingham	0.006998
Etcheverry	0.024885
Punjab	0.012305
Moritz	0.007466
Pavlovski	0.023885
Kostikov	0.022579
Davis-Wilson	0.010668

Descartar:
☐ Ingham
☐ Etcheverry
☒ Punjab
☐ Moritz
☐ Pavlovski
☐ Kostikov
☐ Davis-Wilson

Pérdidas promedio/km (P): **0.016080** m³/s-km

Canales revestidos

Caudales resultantes:

Q perdido: **0.0081** m³/s
 Q final: **0.4139** m³/s
 % pérdidas: **1.91** %

Fuente: Elaboración Propia

Se determinó las pérdidas por infiltración con seis metodologías, con la ayuda del software Hcanales versión 3.0, los métodos Etcheverry y Pavlovski obtuvieron resultados parecidos los más altos de los resultados.

Cuadro N° 19. Pérdidas por Infiltración – Prueba N°02

N° DE PRUEBA	TRAMO	PROGRESIV A (KM)	CAUDAL	PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN (m ³ /s)					
				Ingham	Etcheverry	Moritz	Pavlovski	kostikov	Davis - wilson
2	1	0+500	0.654	0.003925	0.014142	0.0042425	0.012894	0.0121985	0.0059795
	2	1+000	0.570	0.0036755	0.013649	0.0040945	0.0123575	0.0117855	0.005785
	3	1+500	0.505	0.0039675	0.013845	0.0041535	0.0130015	0.012259	0.005869
	4	2+000	0.422	0.005068	0.017927	0.005378	0.0152915	0.014447	0.007379
	Σ =			0.016636	0.059563	0.017869	0.053545	0.050690	0.025013

Fuente: Elaboración Propia.

Según los cálculos anteriores por tramo se ha estimado que la pérdida por infiltración de acuerdo a las características hidráulicas del canal suma un total de 0.0345 m³/s en 2km de longitud del canal, esto resulta de la mayor infiltración que se presenta entre la progresiva 0+500 a 1+000 y de la progresiva 1+500 a 2+000, el tipo de suelo es franco arenoso, logrando alcanzar un promedio de 0.0345 m³/s.

Tercera Prueba de Aforo

N° DE PRUEBA	PUNTOOS DE	PROGRESIVA (KM)	COORDENADAS		CAUDAL m ³ /s	Y (m)	T (m)	b (m)	Z	A (m)	P (m)	R.H (m)	V (m/s)	S
			ESTE	NORTE										
2	1	0+500	535781	9400490	1.050	0.97	4.10	3.078	0.53	3.48	5.28	0.66	0.300	0.00017
	2	1+000	535780	9399988	0.986	0.94	3.95	2.964	0.53	3.25	5.08	0.64	0.302	0.00018
	3	1+500	535807	9399488	0.940	0.91	4.12	3.090	0.57	3.28	5.18	0.63	0.290	0.00017
	4	2+000	535857	9398975	0.830	0.89	3.82	2.868	0.54	2.98	4.89	0.61	0.276	0.00016

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de los cálculos anteriores se procesó dicha información en el software HCanales en la versión 3.0 para el cálculo de las pérdidas por infiltración.

I. Primer Tramo:

Según el anexo, para el cálculo de las pérdidas por infiltración se ha trabajado con un tipo de suelo arena franca, en una longitud de 500m, según la figura N° 10 muestra que para un caudal de 1.050 m³/s, la pérdida por infiltración en este tramo es de 0.0109 m³/s, alcanzando un caudal final de 1.039 m³/s, con una pérdida promedio 0.021830 m³/s-km según las fórmulas establecidas.

Figura N°10. Pérdidas por Infiltración Tramo I – Prueba N°03

Datos:

Caudal (Q): m³/s

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m

Longitud canal (L): Km

Resultados hidráulicos parciales:

Tirante normal (y): m

Area hidráulica (A): m²

Perímetro (p): m

Espejo de agua (T): m

Velocidad (v): m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:

Etcheverry | Punjab | Moritz |
Pavlovski - Kostiaikov | Davis - Wilson

Material del lecho del canal:

Coefficiente permeabilidad m/s:

Pérdidas m³/s-km:

Pérdidas:

Fórmula	m ³ /s-km
Ingham	0.010136
Etcheverry	0.035854
Punjab	0.020557
Moritz	0.010756
Pavlovski	0.030583
Kostiakov	0.028894
Davis-Wilson	0.014758

Descartar:

☐ Ingham

☐ Etcheverry

☒ Punjab

☐ Moritz

☐ Pavlovski

☐ Kostiakov

☐ Davis-Wilson

Pérdidas promedio/km (P): m³/s-km

Canales revestidos



Caudales resultantes:

Q perdido: m³/s

Q final: m³/s

% pérdidas: %

Fuente: Elaboración propia

J. Segundo Tramo:

Según el anexo, para el cálculo de las pérdidas por infiltración se ha trabajado con un tipo de suelo franco arenoso, en una longitud de 500 m, según la figura N° 11 muestra que para un caudal de 0.986 m³/s, la pérdida por infiltración en este tramo es de 0.0105 m³/s, alcanzando un caudal final de 0.975 m³/s, con una pérdida promedio 0.020898 m³/s-km según las fórmulas establecidas.

Figura N°11. Pérdidas por Infiltración Tramo II – Prueba N°03

Datos:

Caudal (Q): m³/s

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m

Longitud canal (L): Km

Resultados hidráulicos parciales:

Tirante normal (y): m

Area hidráulica (A): m²

Perímetro (p): m

Espejo de agua (T): m

Velocidad (v): m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:

Etcheverry | Punjab | Moritz |
Pavlovski - Kostikov | Davis - Wilson

Material del lecho del canal:

Coefficiente permeabilidad m/s:

Pérdidas m³/s-km:

Pérdidas:

Fórmula	m ³ /s-km
Ingham	0.009618
Etcheverry	0.034038
Punjab	0.019842
Moritz	0.010211
Pavlovski	0.029532
Kostikov	0.027896
Davis-Wilson	0.014093

Descartar:

☐ Ingham

☐ Etcheverry

☒ Punjab

☐ Moritz

☐ Pavlovski

☐ Kostikov

☐ Davis-Wilson

Pérdidas promedio/km (P): m³/s-km

Canales revestidos



Caudales resultantes:

Q perdido: m³/s

Q final: m³/s

% pérdidas: %

Fuente: Elaboración propia

K. Tercer Tramo:

Según el anexo, para el cálculo de las pérdidas por infiltración se ha trabajado con un tipo de suelo franco arenoso, en una longitud de 500 m, según la figura N°12 muestra que para un caudal de 0.940 m³/s la pérdida por infiltración en este tramo es de 0.0105 m³/s alcanzando un caudal final de 0.929 m³/s, con una pérdida promedio 0.020991 m³/s-km según las fórmulas establecidas.

Figura N°12. Pérdidas por Infiltración Tramo III – Prueba N°03

Datos:

Caudal (Q): m³/s

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m

Longitud canal (L): Km

Resultados hidráulicos parciales:

Tisante normal (y): m

Area hidráulica (A): m²

Perímetro (p): m

Espejo de agua (T): m

Velocidad (v): m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:

Pavlovski - Kostiaikov | Davis - Wilson

Etcheverry | Punjab | Moritz

Material del lecho del canal:

Coefficiente Moritz:

Pérdidas m³/s-km:

Pérdidas:

Fórmula	m ³ /s-km
Ingham	0.009763
Etcheverry	0.033912
Punjab	0.019315
Moritz	0.010174
Pavlovski	0.029878
Kostiaikov	0.028162
Davis-Wilson	0.014056

Pérdidas promedio/km (P): m³/s-km

Descartar:

☐ Ingham

☐ Etcheverry

☒ Punjab

☐ Moritz

☐ Pavlovski

☐ Kostiaikov

☐ Davis-Wilson

Canales revestidos



Caudales resultantes:

Q perdido: m³/s

Q final: m³/s

% pérdidas: %

Fuente: Elaboración propia

L. Cuarto Tramo:

Según el anexo, para el cálculo de las pérdidas por infiltración se ha trabajado con un tipo de suelo franco arenoso, en una longitud de 500 m, según la figura N°13 muestra que para un caudal de 0.650 m³/s la pérdida por infiltración en este tramo es de 0.0097 m³/s alcanzando un caudal final de 0.640 m³/s, con una pérdida promedio 0.019269 m³/s-km según las fórmulas establecidas.

Figura N°13. Pérdidas por Infiltración Tramo IV – Prueba N°03

Datos:

Caudal (Q): 0.830 m³/s

Ancho de solea (b): 2.868 m

Talud (Z): 0.54

Rugosidad (n): 0.033

Pendiente (S): 0.00016 m/m

Longitud canal (L): 0.5 Km

Resultados hidráulicos parciales:

Tirante normal (y): 0.8959 m

Area hidráulica (A): 2.221961606 m²

Perímetro (p): 4.9044 m

Espejo de agua (T): 3.8356 m

Velocidad (v): 0.2764 m/s

Canales en tierra

Datos del lecho del canal:

Pavlovski - Kostiaikov | Davis - Wilson

Etcheverry | Punjab | Moritz

Material del lecho del canal: Franco arenoso

Coefficiente Moritz: 0.375

Pérdidas m³/s-km: 0.009592

Pérdidas:

Fórmula	m³/s-km
Ingham	0.009076
Etcheverry	0.031972
Punjab	0.018008
Moritz	0.009592
Pavlovski	0.028419
Kostiaikov	0.026824
Davis-Wilson	0.013333

Descartar:

☐ Ingham

☐ Etcheverry

☒ Punjab

☐ Moritz

☐ Pavlovski

☐ Kostiaikov

☐ Davis-Wilson

Pérdidas promedio/km (P): 0.019869 m³/s-km

Canales revestidos

Caudales resultantes:

Q perdido: 0.0100 m³/s

Q final: 0.8200 m³/s

% pérdidas: 1.20 %

Fuente: Elaboración Propia

Se determino las pérdidas por infiltración con seis metodologías, con la ayuda del software Hcanales versión 3.0, los métodos Etcheverry y Pavlovski obtuvieron resultados parecidos los más altos de los resultados.

Cuadro N°21. Pérdidas por Infiltración – Prueba N°03

N° DE PRUEBA	TRAMO	PROGRESIV A (KM)	CAUDAL	PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN (m³/s)					
				Ingham	Etcheverry	Moritz	Pavlovski	kostiaikov	Davis - wilson
3	1	0+500	1.054	0.005068	0.017927	0.005378	0.0152915	0.014447	0.007379
	2	1+000	0.986	0.004809	0.017019	0.005106	0.014766	0.013948	0.007047
	3	1+500	0.940	0.004882	0.016956	0.005087	0.014939	0.014081	0.007028
	4	2+000	0.830	0.004538	0.015986	0.004796	0.014210	0.013412	0.006667
	Σ =			0.019297	0.067888	0.020367	0.059206	0.055888	0.028120

Fuente: Elaboración Propia.

Según los cálculos anteriores por tramo se ha estimado que la pérdida por infiltración de acuerdo a las características hidráulicas del canal suma un total de 0.0419 m³/s en 2km de longitud del canal, esto resulta de la mayor infiltración que se presenta entre la progresiva 0+500 a 1+000 y de la progresiva 1+500 a 2+000, el tipo de suelo es franco arenoso, logrando alcanzar un promedio de 0.0419 m³/s.

Se determinó las pérdidas por infiltración empleando seis metodologías; Ingham, Etcheverry, Moritz, Pavlovski, Kostiaikov, David-Wilson, con ayuda del software Hcanales versión 3.0, en el cual se ingresaron datos de caudal (m³/s), ancho de solera (m), talud (z), rugosidad (n), pendiente (s) longitud de canal, el tipo de material del lecho del canal.

De las seis metodologías con que se trabajó, Moritz, Etcheverry y David- Wilson, nos permitió elegir el tipo de material del lecho del canal determinado en los análisis de suelo, el cual es Franco Arenoso.

El software calcula las pérdidas por unidad de longitud en km, es por ello que al resultado se multiplica por la longitud del tramo que es 0.5 km.

Se hicieron aforos con correntómetro, para poder determinar caudal de entra y salida por tramo, lo cual nos permitió determinar eficiencia y las perdidas por tramo, las perdidas por conducción son la suma de pérdidas por operación, evaporación e infiltración, en este caso al ser un tramo corto, de pequeñas dimensiones y el buen estado de las compuertas de canales laterales, las pérdidas por evaporación y operación se van a despreciar, tomando directamente como pérdidas a la infiltración.

Cuadro N°22. Cuadro comparativo de Pérdidas por Infiltración – Prueba N°01

N° DE PRUEBA	TRAMO	PROGRESIVA (KM)	CAUDAL	PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN (Lt/s)						PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN (lt/s)	Eficiencia %
				Ingham	Etcheverry	Moritz	Pavlovski	kostiakov	Davis - wilson		
1	1	0+500	0.874	4.693	16.70	5.011	14.524	13.725	6.931	26	72.22
	2	1+000	0.783	4.229	14.959	9.270	13.5545	12.806	6.2825	91	
	3	1+500	0.695	4.8615	17.041	102.240	29.764	14.040	7.057	88	
	4	2+000	0.650	4.273	15.453	4.636	13.644	12.292	6.457	45	

En esta primera prueba se aforo determinando el caudal de entra en el canal con 0.900 m³/s , caudal de salida con 0.650 m³/s y eficiencia de 72% esto a lo largo de los 2km de estudio de canal, pero también se determinó por tramos cada 500 m, en el primer tramo desde la progresiva 0+000 a la progresiva 0+500, un caudal de ingreso de 0.900 m³/s y una caudal de salida de 0.874 m³/s, se determinó perdidas con el software Hcanales empleando seis metodologías las cuales se observan en el cuadro N°22, estas pérdidas son muy bajas en comparación con las pérdidas determinadas con los aforos en campo, en el software evalúa en base a un solo caudal y al promedio de coeficiente de permeabilidad lo que hace un poco menos exacto que lo determinado en campo, teniendo así las siguientes pérdidas por tramos; tramo N°01 una pérdida de 0.026 m³/s, tramo N°02 una pérdida de 0.091 m³/s, tramo N°03 una pérdida de 0.088 m³/s, tramo N°04 una pérdida de 0.045 m³/s, dando como resultado total de pérdida por infiltración 0.250 m³/s y una eficiencia de conducción de 72% en una longitud de 2km de canal sin revestir, es una pérdida considerable de agua esto como causa del tipo de suelo Franco Arenoso, y a las velocidades de infiltración por tramo siendo las siguientes; 2.4378 cm/h, 2.8746cm/h. 2.6450 cm/h, 2.1082 cm/h

Cuadro N°23. Cuadro comparativo de Pérdidas por Infiltración – Prueba N°02

N° DE PRUEBA	TRAMO	PROGRESIVA (KM)	CAUDAL	PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN (Lt/s)						PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN (Lt/s)	Eficiencia %
				Ingham	Etcheverry	Moritz	Pavlovski	kostiakov	Davis - wilson		
2	1	0+500	0.654	3.925	14.142	4.2425	12.894	12.199	5.98	96	56.27
	2	1+000	0.570	3.676	13.649	4.095	12.358	11.786	5.785	84	
	3	1+500	0.505	3.968	13.845	4.154	13.002	12.259	5.869	64	
	4	2+000	0.422	5.068	17.927	5.378	15.2915	14.447	7.379	83	

En esta segunda prueba se aforo determinando el caudal de entra en el canal con 0.750 m³/s , caudal de salida con 0.422 m³/s y eficiencia de 56.27% esto a lo largo de los 2km de estudio de canal, pero también se determinó por tramos cada 500 m, en el primer tramo desde la progresiva 0+000 a la progresiva 0+500, un caudal de ingreso de 0.750 m³/s y una caudal de salida de 0.654 m³/s, se determinó perdidas con el software Hcanales empleando seis metodologías las cuales se observan en el cuadro N°23, estas pérdidas son muy bajas en comparación con las pérdidas determinadas con los aforos en campo, en el software evalúa en base a un solo caudal y al promedio de coeficiente de permeabilidad lo que hace un poco menos exacto que lo determinado en campo, teniendo así las siguientes pérdidas por tramos; tramo N°01 una pérdida de 0.096 m³/s, tramo N°02 una pérdida de 0.084 m³/s, tramo N°03 una pérdida de 0.065 m³/s, tramo N°04 una pérdida de 0.083 m³/s, dando como resultado total de pérdida por infiltración 0.328 m³/s y una eficiencia de conducción de 56.27% en una longitud de 2km de canal sin revestir, es una pérdida considerable de agua esto como causa del tipo de suelo Franco Arenoso, y a las velocidades de infiltración por tramo siendo las siguientes; 2.4378 cm/h, 2.8746cm/h. 2.6450 cm/h, 2.1082 cm/h.

Cuadro N°24. Cuadro comparativo de Pérdidas por Infiltración – Prueba N°03

N° DE PRUEBA	TRAMO	PROGRESIVA (KM)	CAUDAL	PÉRDIDAS POR INFILTRACIÓN (Lt/s)						PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN (Lt/s)	Eficiencia %
				Ingham	Etcheverry	Moritz	Pavlovski	kostiakov	Davis - wilson		
3	1	0+500	1.054	5.068	17.927	5.378	15.292	14.447	7.379	70	74.11
	2	1+000	0.986	4.809	17.019	5.106	14.766	13.948	7.047	64	
	3	1+500	0.940	4.882	16.956	5.087	14.939	14.081	7.028	46	
	4	2+000	0.830	4.538	15.986	4.796	14.210000	13.412	6.667	110	

En esta tercera prueba se aforo determinando el caudal de entra en el canal con 1.120 m³/s , caudal de salida con 0.830 m³/s y eficiencia de 74.11% esto a lo largo de los 2km de estudio de canal, pero también se determinó por tramos cada 500 m, en el primer tramo desde la progresiva 0+000 a la progresiva 0+500, un caudal de ingreso de 0.750 m³/s y una caudal de salida de 0.654 m³/s, se determinó perdidas con el software Hcanales empleando seis metodologías las cuales se observan en el cuadro N°23, estas pérdidas son muy bajas en comparación con las pérdidas determinadas con los aforos en campo, en el software evalúa en base a un solo caudal y al promedio de coeficiente de permeabilidad lo que hace un poco menos exacto que lo determinado en campo, teniendo así las siguientes pérdidas por tramos; tramo N°01 una pérdida de 0.07 m³/s, tramo N°02 una pérdida de 0.064 m³/s, tramo N°03 una pérdida de 0.046 m³/s, tramo N°04 una pérdida de 0.11 m³/s, dando como resultado total de pérdida por infiltración 0.290 m³/s y una eficiencia de conducción de 74.11% en una longitud de 2km de canal sin revestir, es una pérdida considerable de agua esto como causa del tipo de suelo Franco Arenoso, y a las velocidades de infiltración por tramo siendo las siguientes; 2.4378 cm/h, 2.8746cm/h. 2.6450 cm/h, 2.1082 cm/h.

4.4. Representación de pérdidas por infiltración

El método utilizado es el de la Distancia Inversa Ponderada (IDW). Las estimaciones realizadas mediante el método utilizado requirieron un área y número de puntos para la predicción pues los valores estimados se obtienen con los puntos de muestra existentes. Se procedió con la interpolación de las pérdidas por infiltración obtenidas con las seis metodologías y posteriormente su representación en el espacio con sus coordenadas UTM, con el esferoide WGS84 y luego se establece la proyección correspondiente, antes de ser usada la información en SIG, se realizó el proceso de conversión de formato con extensión .xls a formato shapefile con extensión .shp en el software ArcGIS versión 10.3.

Luego se aplica la técnica espacial IDW dando como resultado un modelo geográfico el cual permite analizar el comportamiento continuo de las pérdidas por infiltración.

Se representaron las pérdidas por infiltración determinadas en tres pruebas con seis metodologías, se representó también las isolíneas de pérdidas por infiltración e isolíneas de eficiencia de conducción en el canal San Martín.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se determinó las pérdidas por infiltración a lo largo del canal San Martín utilizando seis metodologías de las cuales solo Moritz, Etcheverry y David-Wilson, permitieron ingresar el tipo de material del lecho del canal el cual es un dato fundamental, por el contrario Ingham trabaja sin el tipo de material del lecho del canal lo que lo hace el método menos confiable.
- se comprobó que las pérdidas determinadas con las seis metodologías son muy pequeñas en comparación con las determinadas en campo, teniendo como resultado de campo con la primera prueba realizada una pérdida de infiltración total de 0.250 m³/s, una segunda prueba realizada una pérdida de infiltración total de 0.328 m³/s, Una tercera prueba una pérdida de infiltración total de 0.290 m³/s, todas la pruebas realizadas en 2km de longitud del canal sin revestir, con alto índice de vegetación en el lecho del canal esto reduce la velocidad del agua, y con un tipo de suelo Franco Arenoso con velocidades de infiltración considerables determinadas en los cuatro puntos de control siendo las siguientes; 2.4378 cm/h, 2.8746cm/h. 2.6450 cm/h, 2.1082 cm/h.
- Se determinaron las eficiencias de conducción a lo largo del canal San Martín, teniendo como resultado de la primera prueba realizada con un caudal de entra de 0.900 m³/s y caudal de salida de 0.650 m³/s, con una eficiencia de conducción de 72.22%, una segunda prueba realizada con un caudal de entrada de 0.750 m³/s y un caudal de salida de 0.422 m³/s, con una eficiencia de conducción de 56.27%, y una tercera prueba con un caudal de entrada de 1.120 m³/s y un caudal de salida de 0.830 m³/s, con una eficiencia de conducción de 74.11%, esto comprueba que mientras el canal opere con un caudal considerable máximo las perdidas van a ser menores y todo lo contrario si opera con un caudal mínimo pues las pérdidas serán mayores.
- Se elaboraron mapas temáticos de la representación espacial de la pérdida de agua por infiltración de cada una de las tres pruebas realizadas con resultados obtenidos de seis metodologías, se representó espacialmente las eficiencias de conducción, isolíneas de pérdidas por infiltración e

isolíneas de eficiencia de conducción del canal San Martín de la Comisión de Usuarios Seminario.

- Se identificaron tramos críticos donde se generan las mayores pérdidas por infiltración a lo largo del Canal San Martín, en la primera prueba que se realizó y se representó espacialmente se observa que la mayor pérdida por infiltración se genera en el tercer punto de estudio en la progresiva 1+500, la segunda prueba el punto crítico se en la progresiva 2+000, la tercera prueba el punto crítico es en la progresiva 0+500, las pruebas se realizaron con caudales diferentes con ayuda del software Hcanales versión 3.0, posteriormente las pruebas realizadas en campo con aforos con correntómetro también se representaron espacialmente obteniendo en la primera prueba como punto crítico en la progresiva 0+500, la segunda prueba el punto crítico en la progresiva 1+500, y la tercera prueba el punto crítico entre las progresivas 1+000 y 1+500.

se tiene que tener en cuenta que las pérdidas obtenidas con las seis metodologías dan aproximaciones no muy exactas en comparación con las determinadas en campo, pero a pesar de todo sirven para hacer una estimación preliminar del problema.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para estudios de investigaciones posteriores se tome en cuenta las metodologías que permitan elegir el tipo de suelo que encuentren en los análisis de suelos.
- Se recomienda que para la determinación de pérdidas por infiltración se considere los aforos con correntómetro por tramos para una cuantificación mas precisa y detallada, ya que las fórmulas empíricas solo dan datos aproximados de la realidad del problema.
- Se recomienda hacer un seguimiento y control detallado por parte del sectorista de riego, que contribuya a registrar las áreas programadas según el rol de riego, destacando un trabajo hidrométrico más óptimo y eficiente en el servicio que se brinda al usuario con la finalidad de no inducir a la presencia de hurtos de agua.
- Se recomienda a la Comisión de Usuarios Seminario, considerar un proyecto de revestimiento del canal San Martin, ya que con los resultados obtenidos en esta investigación de tesis se comprueba que las pérdidas por infiltración son considerables, y esto juega un papel importante a la hora del pago de la tarifa de agua para el riego, pues se paga por un caudal de riego determinado y sin embargo este no llega completamente donde se requiere ya que en su recorrido se va perdiendo agua considerable por infiltración lo que genera conflictos y una atención inoportuna para el cultivo alargando turnos de riego etc.

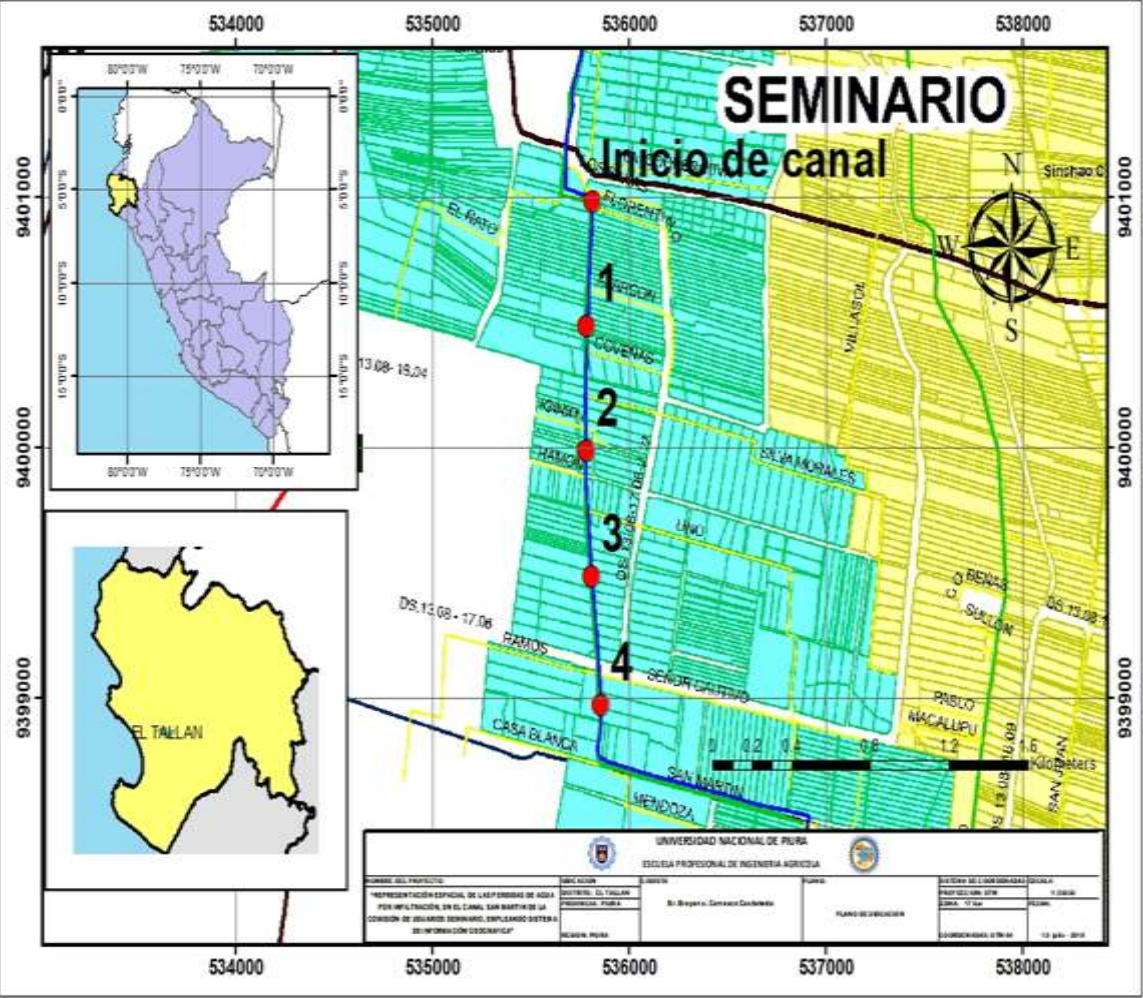
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ Y CASTILLO, (2015). Evaluación de las Pérdidas de agua por infiltración en un canal de tierra y su efecto económico en los costos de producción agrícola, sector Valdivia Alta-Ramal I Valle de Santa Catalina Moche- Trujillo.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA – ANA (2009). Ley de Recursos Hídricos de la Republica del Perú, Ley N° 29338. Lima, Perú.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA (2011). Resolución Jefatural N° 892-2011, Reglamento de Operadores de la infraestructura Hidráulica. Lima, Perú.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA - ANA (2015). Reglamento de la organización de Usuarios de Agua, decreto supremo N° 05-2015, Minagri.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA -ANA (2015). Resolución jefatural N°307-2015, establecen disposiciones para la formulación y aprobación de las tarifas por utilización de la infraestructura hidráulica mayor y menor y gestión de agua subterránea.
- CALVACHE M. (1993). Requerimientos hídricos de cultivos agrícolas. Pichincha, Quito, Tesis-Ec. Universidad Central del Ecuador.
- CHÁVEZ, D. (1996). Recursos de Agua-Aprovechamiento-Política del Agua, Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial, Lima.
- CHOW VEN, TE. (1994). Hidráulica de Canales Abiertos.
- DURANGO, J. 2001. Compendio de Información relevante sobre aspectos de
- GILBERTO, S. (2002). Hidráulica General (la ed.) Limusa, SA. De Grupo Noriega, México.
- GÓMEZ, MUNIVE ET AL. (2013). Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río shullcas.
- GRASSI, C. (1984). Métodos de riego. México, ven, CIDIAT, 265p. (Ser. Riego y Drenaje RD12).

- GUROVICH, A. (1985), Fundamentos de diseño de sistemas de riego.
- LUQUE ALFREDO JORGE (1979). Administración y Manejo de Sistemas y Distritos de Riego. Editorial hemisferio sur. 2^{Da} Edición, Buenos Aires-Argentina.
- ORSÓN W. ISRAELSEN. (1995). Principios y Aplicación del Riego. Segunda edición, Editorial Reverte S.A. México.
- PALACIOS, E. (1972). Técnicas para la Evaluación y Mejoramiento de la Operación de los Distritos de Riego. Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados: Capingo, México.
- PROGRAMA SUBSECTORIAL E IRRIGACIÓN – (PSI) (2004). Determinación de Eficiencias de conducción y distribución. Lima, Perú.
- SIMÓN, A. (1994). Hidráulica Práctica. Ed. Limusa Noriega. Willey D.F México.
- SUAREZ M.Y WIMER O. (2007). Propuesta de Mejoramiento de la Distribución del Agua de Riego en la Comisión de Regantes Jesús del Valle – Esquivel. Tesis para Optar Título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional La Molina. Lima – Perú.
- Villón B. M. (2003). Diseño de estructuras hidráulicas, 1^{ra} edición. Cartago, Costa Rica.
- WALKER Y SKORGERBOE (1983). Teoría y Práctica del riego por superficie diseño y evaluación (1a ed.), de UTAHSTATE LOGN – U.S.A.
- ZAPATA L, N. (2003). Evaluación de la eficiencia de conducción para el mejoramiento de la distribución, en el canal 11 salitral 1 de la comisión de Usuarios del Subsector Hidráulico Miguel Checa, Sullana, Piura.

ANEXOS

ANEXO 1: Plano de ubicación del Proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2: Análisis de suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 Departamento Académico de Suelos



ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE: BRAYAN E. CARRASCO CASTAÑEDA

PROCEDENCIA: CANAL SAN MARTÍN – EL TALLÁN – LA UNIÓN

DETERMINACIONES	RESULTADOS			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Conductividad eléctrica ds/m	0.47	0.40	0.38	0.48
pH (1-2:5)	7.90	7.45	7.60	7.45
Calcáreo (CaCO ₃ %)	1.33	0.57	0.75	0.57
Materia orgánica (%)	0.12	0.16	0.18	0.26
Nitrógeno total (%N)	0.01	0.01	0.01	0.01
Fósforo (ppmP)	7	10	9	10
Potasio (ppmK)	120	160	169	173
Textura	Arena Franca	Franco	Franco	Franco Arenoso
% Arena	87	50	30	53
% Limo	06	30	46	30
% Arcilla	07	20	24	17
CIC meq/100g	470	11.64	14.64	9.88
Ca ⁺⁺	3.06	9.10	11.20	8.23
Mg ⁺⁺	1.17	2.10	3.00	1.20
K ⁺	0.33	0.30	0.31	0.30
Na ⁺	0.14	0.14	0.13	0.15

* Muestra traída por el usuario.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
 FACULTAD DE AGRONOMIA
 DPTO. ACADÉMICO DE SUELOS
 Dr. José Remigio Arguelli
 DIRECTOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 Departamento Académico de Suelos



ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE: BRAYAN E. CARRASCO CASTAÑEDA

PROCEDENCIA: CANAL SAN MARTÍN – EL TALLÁN – LA UNIÓN

DETERMINACIONES	RESULTADOS			
	Muestra 5	Muestra 5	Muestra 7	Muestra 8
Conductividad eléctrica ds/m	0.42	0.33	0.77	0.54
pH (1-2:5)	7.60	7.35	7.96	7.43
Calcáreo ($\text{CaCO}_3\%$)	0.72	0.46	1.66	0.55
Materia orgánica (%)	0.12	0.18	0.13	0.27
Nitrógeno total (%N)	0.01	0.01	0.01	0.01
Fósforo (ppmP)	7	9	8	10
Potasio (ppmK)	86	159	136	168
Textura	Arena	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso
% Arena	92	61	73	63
% Limo	04	27	09	24
% Arcilla	04	12	5.90	13
CIC meq/100g	2.89	6.77	4.06	7.70
Ca^{++}	1.66	5.17	1.40	6.01
Mg^{++}	0.68	1.18	0.33	1.24
K^+	0.31	0.29	0.17	0.30
Na^+	0.14	0.13	8	0.15

* Muestra traída por el usuario.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
 FACULTAD DE AGRONOMIA
 DEPTO. ACADEMICO DE SUELOS
 Dr. José Benigno Argüello
 DIRECTOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMIA
Departamento Académico de Suelos



ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE: BRAYAN E. CARRASCO CASTAÑEDA

PROCEDENCIA: CANAL SAN MARTÍN – EL TALLÁN – LA UNIÓN

DETERMINACIONES	RESULTADOS			
	Muestra 9	Muestra 10	Muestra 11	Muestra 12
Conductividad eléctrica ds/m	0.68	0.53	0.36	0.41
pH (1-2.5)	7.36	7.79	7.25	7.60
Calcáreo (CaCO ₃ %)	0.45	0.87	0.36	0.74
Materia orgánica (%)	0.16	0.16	0.14	0.22
Nitrógeno total (%N)	0.01	0.01	0.01	0.01
Fósforo (ppmP)	9	8	7	9
Potasio (ppmK)	170	150	136	168
Textura	Franco Arcilloso	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arenoso
% Arena	30	64	70	58
% Limo	34	24	20	30
% Arcilla	36	12	10	12
CIC meq/100g	17.63	6.82	5.80	6.74
Ca ⁺⁺	14.16	5.11	4.08	5.09
Mg ⁺⁺	3.03	1.23	1.31	1.17
K ⁺	0.30	0.31	0.28	0.32
Na ⁺	0.14	0.17	0.13	0.16

* Muestra traída por el usuario.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMIA
DPTO. ACADÉMICO DE SUELOS
"Dr. José Remigio Argüelles"
DIRECTOR

ANEXO 3: Pruebas de infiltración

3.1. Prueba de infiltración N°01

PRUEBA DE INFILTRACIÓN

CAMPO: EL TALLAN
FECHA: 13/09/2019
MÉTODO: DEL CILINDRO INFILTRÓMETRO
TEXTURA: FRANCO ARENOSO

OBSERVADOR: Brayan S. Carrasco Castañeda
N° DE PRUEBA: 1

Lectura n°	hora	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado	Lectura	Enrase	Laminas parciales	Laminas Acumuladas	Velocidad de infiltración (cm/hora)	
		minutos	minutos					Instantanea	Promedio
1	8:32 a. m.	0	0	15	15	-	-	-	-
2	8:33 a. m.	1	1	13.9		1.1	1.1	66.0	66.0
3	8:34 a. m.	1	2	13.7		0.2	1.3	12.0	39.0
4	8:35 a. m.	1	3	13.5		0.2	1.5	12.0	30.0
5	8:36 a. m.	1	4	13.4		0.1	1.6	6.0	24.0
6	8:37 a. m.	1	5	13.3		0.1	1.7	6.0	20.4
7	8:38 a. m.	1	6	13.1		0.2	1.9	12.0	19.0
8	8:40 a. m.	1	7	13		0.1	2.0	6.0	17.1
9	8:42 a. m.	3	10	12.8		0.2	2.2	4.0	13.2
10	8:47 a. m.	3	13	12.2		0.6	2.8	12.0	12.9
11	8:52 a. m.	3	16	12.1		0.1	2.9	2.0	10.9
12	8:57 a. m.	5	21	11.6		0.5	3.4	6.0	9.7
13	9:02 a. m.	5	26	11		0.6	4.0	7.2	9.2
14	9:12 a. m.	5	31	10.5		0.5	4.5	6.0	8.7
15	9:22 a. m.	10	41	14.6	15	0.4	4.9	2.4	7.2
16	9:32 a. m.	10	51	13.7		0.9	5.8	5.4	6.8
17	9:52 a. m.	10	61	12.6		1.1	6.9	6.6	6.8
18	10:12 a. m.	20	81	10.7		1.9	8.8	5.7	6.5
19	10:32 a. m.	20	101	14.0	15	1.0	9.8	3.0	5.8
20	11:02 a. m.	40	141	10.3		3.7	13.5	5.6	5.7
21	11:42 a. m.	60	201	13.3	15	1.7	15.2	1.7	4.5
12:42 p. m.									

CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE LA LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA

N° ORDEN	Tiempo Acumulado min	Lamina infiltrada acumulada Icum. (cm)	Log t = x	Log Icum = y	x*y	X ²	Y ²
1	1	1.1	-	0.041393	-	-	0.001713
2	2	1.3	0.301030	0.113943	0.034300	0.090619	0.012983
3	3	1.5	0.477121	0.176091	0.084017	0.227645	0.031008
4	4	1.6	0.602060	0.204120	0.122892	0.362476	0.041665
5	5	1.7	0.698970	0.230449	0.161077	0.488559	0.053107
6	6	1.9	0.778151	0.278754	0.216912	0.605519	0.077704
7	7	2	0.845098	0.301030	0.254400	0.714191	0.090619
8	10	2.2	1.000000	0.342423	0.342423	1.000000	0.117253
9	13	2.8	1.113943	0.447158	0.498109	1.240870	0.199950
10	16	2.9	1.204120	0.462398	0.556783	1.449905	0.213812
11	21	3.4	1.322219	0.531479	0.702732	1.748264	0.282470
12	26	4	1.414973	0.602060	0.851899	2.002150	0.362476
13	31	4.5	1.491362	0.653213	0.974176	2.224160	0.426687
14	41	4.9	1.612784	0.690196	1.113137	2.601072	0.476371
15	51	5.8	1.707570	0.763428	1.303607	2.915796	0.582822
16	61	6.9	1.785330	0.838849	1.497622	3.187403	0.703668
17	81	8.8	1.908485	0.944483	1.802531	3.642315	0.892048
18	101	9.8	2.004321	0.991226	1.986736	4.017304	0.982529
19	141	13.5	2.149219	1.130334	2.429335	4.619143	1.277654
20	201	15.2	2.303196	1.181844	2.722017	5.304712	1.396754
		Sumatoria=	24.719954	10.924869	17.654705	38.442101	8.223293

B=	0.526297693
N=	-0.104259269
A=	0.786576072
R ² =	11.83980537
R ² =	0.970997913

12.1934406

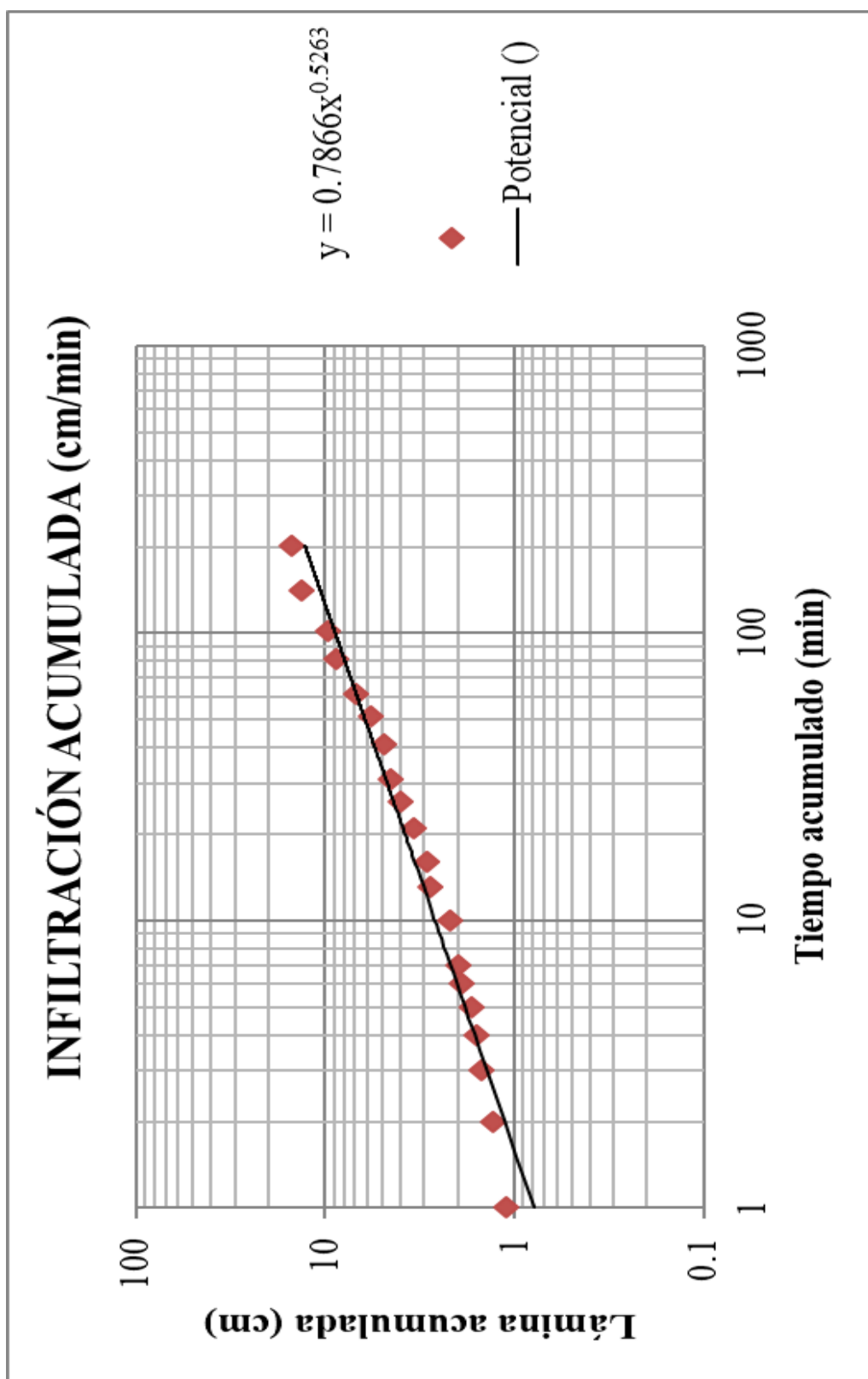
SX/20	SY/20	SX*Y/20	SX²/20
1.235997682	0.54624346	0.882735249	1.922105069
SX*SY= 0.67515565			
(SX/19)²= 1.52769027			

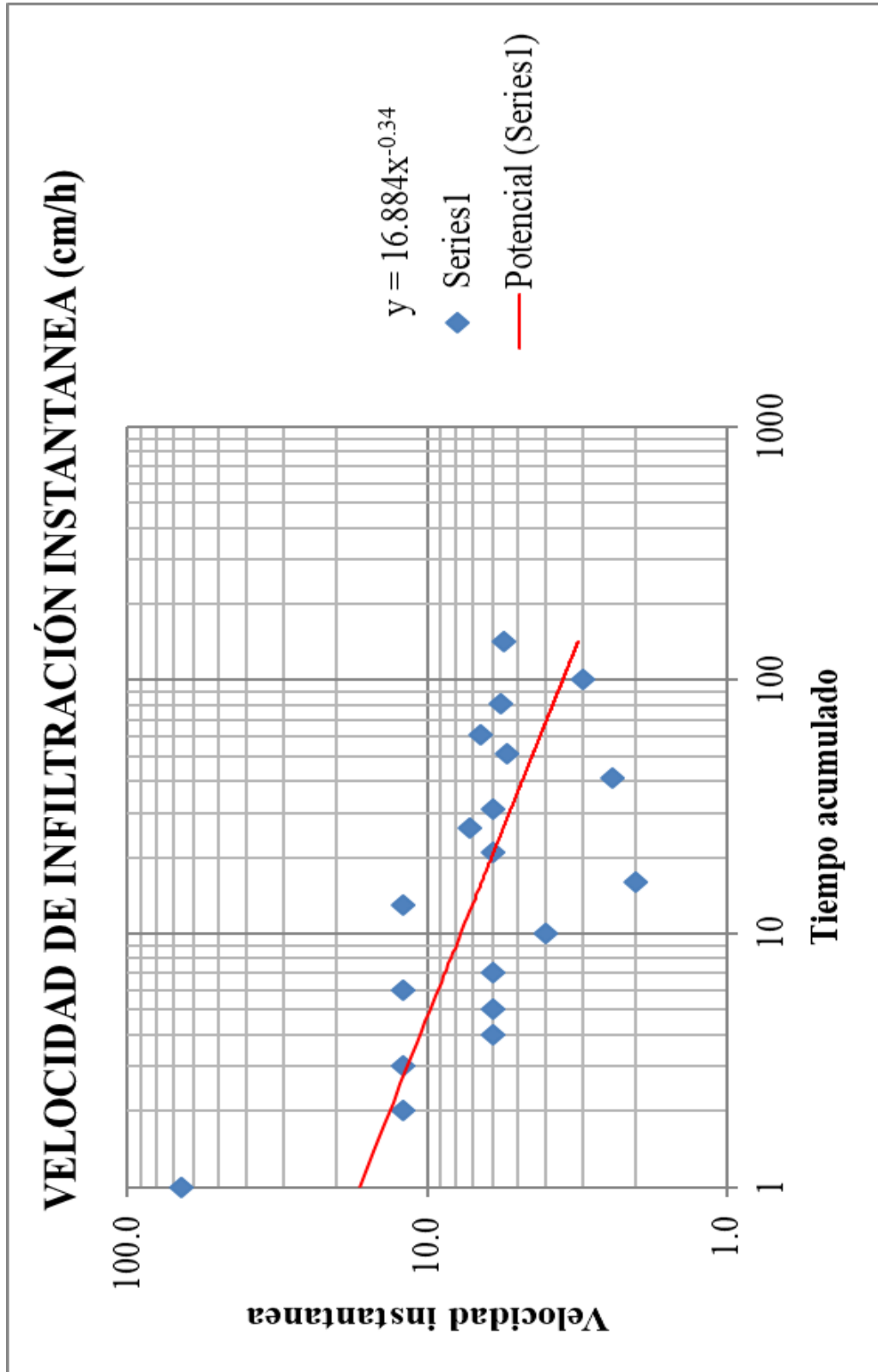
Fuente: elaboración propia.

CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

N° ORDEN	Tiempo acumulado (min)	I(cm/hora)	Log t=X	Log I=Y	X*Y	X ²	Y ²
1	1	66.0	-	1.819544	-	-	3.310740
2	2	12.0	0.301030	1.079181	0.324866	0.090619	1.164632
3	3	12.0	0.477121	1.079181	0.514900	0.227645	1.164632
4	4	6.0	0.602060	0.778151	0.468494	0.362476	0.605519
5	5	6.0	0.698970	0.778151	0.543904	0.488559	0.605519
6	6	12.0	0.778151	1.079181	0.839766	0.605519	1.164632
7	7	6.0	0.845098	0.778151	0.657614	0.714191	0.605519
8	10	4.0	1.000000	0.602060	0.602060	1.000000	0.362476
9	13	12.0	1.113943	1.079181	1.202147	1.240870	1.164632
10	16	2.0	1.204120	0.301030	0.362476	1.449905	0.090619
11	21	6.0	1.322219	0.778151	1.028887	1.748264	0.605519
12	26	7.2	1.414973	0.857332	1.213103	2.002150	0.735019
13	31	6.0	1.491362	0.778151	1.160505	2.224160	0.605519
14	41	2.4	1.612784	0.380211	0.613199	2.601072	0.144561
15	51	5.4	1.707570	0.732394	1.250614	2.915796	0.536401
16	61	6.6	1.785330	0.819544	1.463156	3.187403	0.671652
17	81	5.7	1.908485	0.755875	1.442576	3.642315	0.571347
18	101	3.0	2.004321	0.477121	0.956304	4.017304	0.227645
19	141	5.6	2.149219	0.744293	1.599649	4.619143	0.553972
20	201	1.7	2.303196	0.230449	0.530769	5.304712	0.053107
		Sumatoria	24.719954	15.927335	16.774988	38.442101	14.943664
						Tb=	221.4288349
						Ib=	2.437839763
							cm/h

Fuente: elaboración propia.





3.2. Prueba de infiltración N°02

PRUEBA DE INFILTRACIÓN

CAMPO: EL TALLAN OBSERVADOR: Brayan S. Carrasco Castañeda
 FECHA: 14/09/2019 N° DE PRUEBA: 2
 MÉTODO: DEL CILINDRO INFILTRÓMETRO
 TEXTURA: FRANCO ARENOSO

Lectura n°	hora	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado	Lectura	Enrase	Laminas parciales	Laminas Acumuladas	Velocidad de infiltración (cm/hora)	
		minutos	minutos					Instantanea	Promedio
1	8:32 a. m.	0	0	15	15	-	-	-	-
2	8:33 a. m.	1	1	14.2		0.8	0.8	48.0	48.0
3	8:34 a. m.	1	2	13.8		0.4	1.2	24.0	36.0
4	8:35 a. m.	1	3	13.7		0.1	1.3	6.0	26.0
5	8:36 a. m.	1	4	13.6		0.1	1.4	6.0	21.0
6	8:37 a. m.	1	5	13.5		0.1	1.5	6.0	18.0
7	8:38 a. m.	1	6	13.2		0.3	1.8	18.0	18.0
8	8:40 a. m.	1	7	13		0.2	2.0	12.0	17.1
9	8:42 a. m.	3	10	12.9		0.1	2.1	2.0	12.6
10	8:47 a. m.	3	13	12.2		0.7	2.8	14.0	12.9
11	8:52 a. m.	3	16	12		0.2	3.0	4.0	11.3
12	8:57 a. m.	5	21	11.5		0.5	3.5	6.0	10.0
13	9:02 a. m.	5	26	11		0.5	4.0	6.0	9.2
14	9:12 a. m.	5	31	10.5		0.5	4.5	6.0	8.7
15	9:22 a. m.	10	41	14.1	15	0.9	5.4	5.4	7.9
16	9:32 a. m.	10	51	13.2		0.9	6.3	5.4	7.4
17	9:52 a. m.	10	61	12.3		0.9	7.2	5.4	7.1
18	10:12 a. m.	20	81	10.7		1.6	8.8	4.8	6.5
19	10:32 a. m.	20	101	13.5	15	1.5	10.3	4.5	6.1
20	11:02 a. m.	40	141	10.8		2.7	13.0	4.1	5.5
21	11:42 a. m.	60	201	12.5	15	2.5	15.5	2.5	4.6
		12:42							

Fuente: elaboración propia.

CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE LA LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA

N° ORDEN	Tiempo Acumulado min	Lamina infiltrada acumulada Icum. (cm)	Log t = x	Log Icum = y	x*y	X ²	Y ²
1	1	0.8	-	-0.096910	-	-	0.009392
2	2	1.2	0.301030	0.079181	0.023836	0.090619	0.006270
3	3	1.3	0.477121	0.113943	0.054365	0.227645	0.012983
4	4	1.4	0.602060	0.146128	0.087978	0.362476	0.021353
5	5	1.5	0.698970	0.176091	0.123083	0.488559	0.031008
6	6	1.8	0.778151	0.255273	0.198641	0.605519	0.065164
7	7	2	0.845098	0.301030	0.254400	0.714191	0.090619
8	10	2.1	1.000000	0.322219	0.322219	1.000000	0.103825
9	13	2.8	1.113943	0.447158	0.498109	1.240870	0.199950
10	16	3	1.204120	0.477121	0.574511	1.449905	0.227645
11	21	3.5	1.322219	0.544068	0.719377	1.748264	0.296010
12	26	4	1.414973	0.602060	0.851899	2.002150	0.362476
13	31	4.5	1.491362	0.653213	0.974176	2.224160	0.426687
14	41	5.4	1.612784	0.732394	1.181193	2.601072	0.536401
15	51	6.3	1.707570	0.799341	1.364930	2.915796	0.638945
16	61	7.2	1.785330	0.857332	1.530621	3.187403	0.735019
17	81	8.8	1.908485	0.944483	1.802531	3.642315	0.892048
18	101	10.3	2.004321	1.012837	2.030051	4.017304	1.025839
19	141	13	2.149219	1.113943	2.394108	4.619143	1.240870
20	201	15.5	2.303196	1.190332	2.741567	5.304712	1.416890
		Sumatoria=	24.719954	10.671237	17.727595	38.442101	8.339393

B=	0.575278953
N=	-0.177481589
A=	0.664535844
R ² =	14.77464385
R ² =	1.002821439

14.73307538

SX/20	SY/20	SX*Y/20	SX ² /20
1.235997682	0.533561863	0.886379759	1.922105069
SX*SY= 0.659481226			
(SX/19) ² = 1.52769027			

Fuente: elaboración propia.

CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

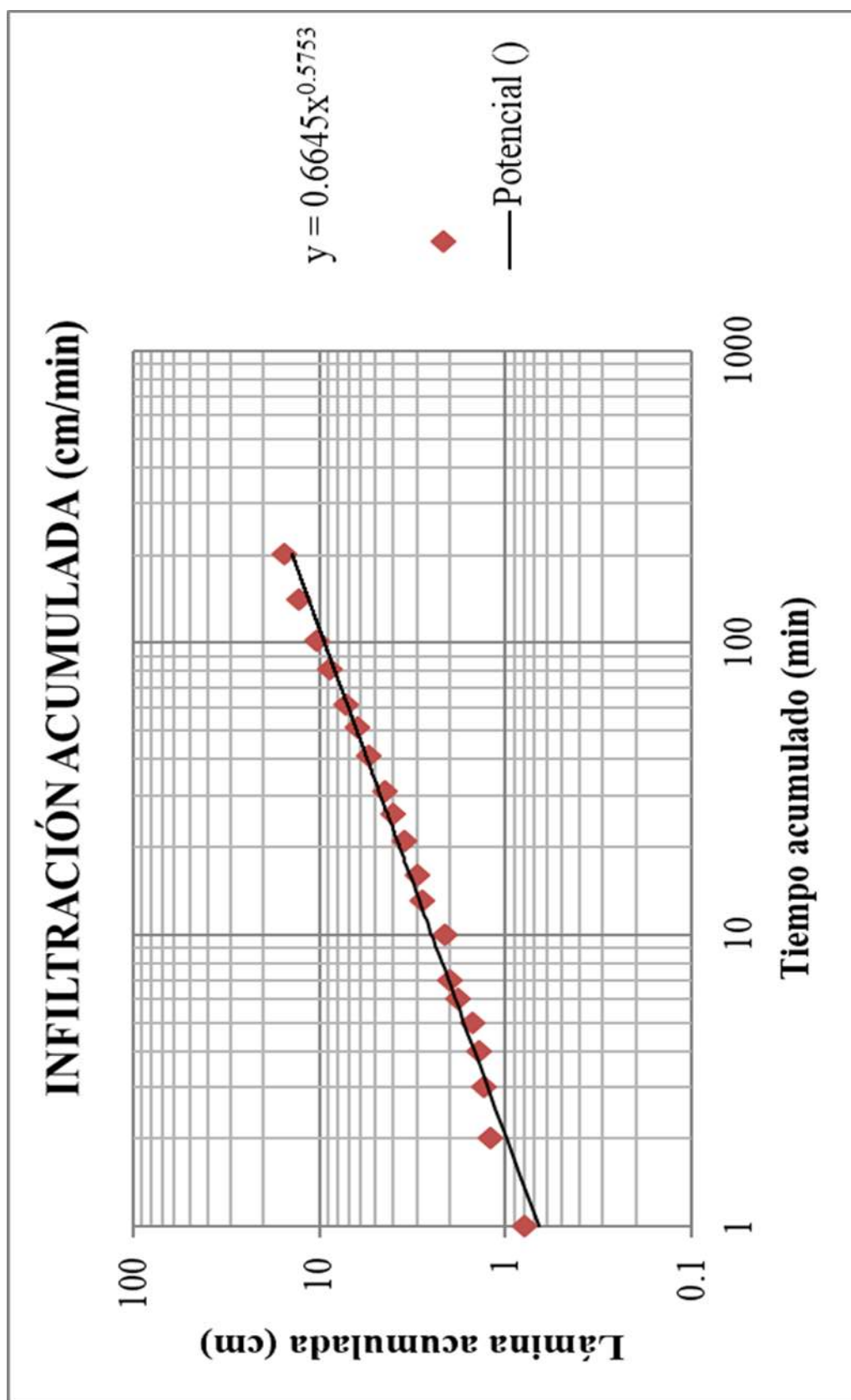
Nº ORDEN	Tiempo acumulado (min)	I(cm/hora)	Log t=X	Log I=Y	X*Y	X ²	Y ²
1	1	48.0	-	1.681241	-	-	2.826572
2	2	24.0	0.301030	1.380211	0.415485	0.090619	1.904983
3	3	6.0	0.477121	0.778151	0.371273	0.227645	0.605519
4	4	6.0	0.602060	0.778151	0.468494	0.362476	0.605519
5	5	6.0	0.698970	0.778151	0.543904	0.488559	0.605519
6	6	18.0	0.778151	1.255273	0.976792	0.605519	1.575709
7	7	12.0	0.845098	1.079181	0.912014	0.714191	1.164632
8	10	2.0	1.000000	0.301030	0.301030	1.000000	0.090619
9	13	14.0	1.113943	1.146128	1.276722	1.240870	1.313609
10	16	4.0	1.204120	0.602060	0.724952	1.449905	0.362476
11	21	6.0	1.322219	0.778151	1.028887	1.748264	0.605519
12	26	6.0	1.414973	0.778151	1.101063	2.002150	0.605519
13	31	6.0	1.491362	0.778151	1.160505	2.224160	0.605519
14	41	5.4	1.612784	0.732394	1.181193	2.601072	0.536401
15	51	5.4	1.707570	0.732394	1.250614	2.915796	0.536401
16	61	5.4	1.785330	0.732394	1.307564	3.187403	0.536401
17	81	4.8	1.908485	0.681241	1.300139	3.642315	0.464090
18	101	4.5	2.004321	0.653213	1.309248	4.017304	0.426687
19	141	4.1	2.149219	0.607455	1.305554	4.619143	0.369002
20	201	2.5	2.303196	0.397940	0.916534	5.304712	0.158356
		Sumatoria	24.719954	16.651062	17.851966	38.442101	15.899053

b=	-0.345918569
N=	1.26010764
a=	18.20151928
r ²	14.53059242
r ² =	1.770879219
Tb=	207.5511413
Ib=	2.874557715

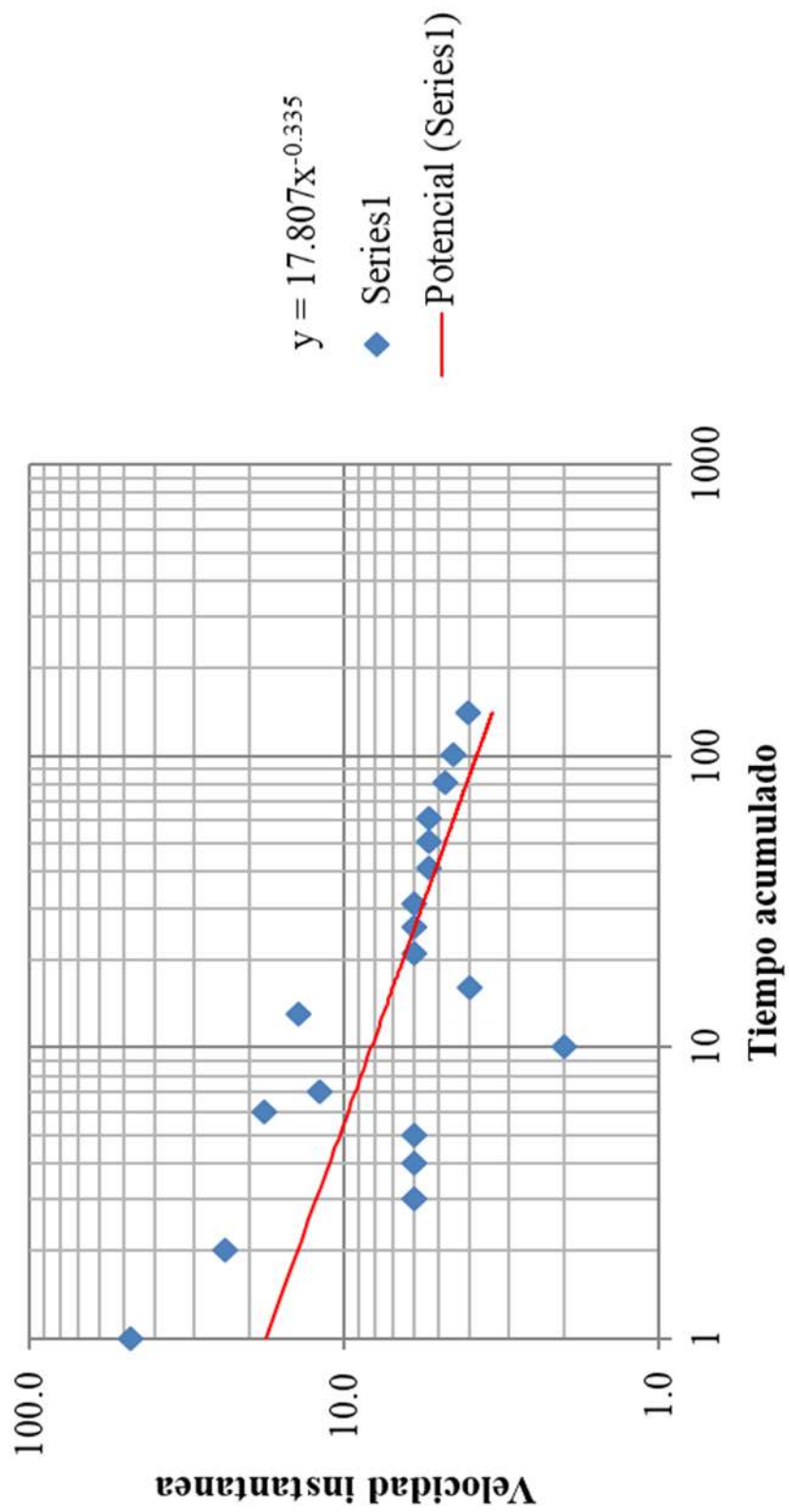
8.205298397
cm/h

SX/19	SX*Y/19	SX²/19
1.235997682	0.832553091	1.922105069
SX*SY=	1.02903369	
(SX/19)²=	1.52769027	

Fuente: elaboración propia.



VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INSTANTANEA (cm/h)



3.3. Prueba de infiltración N°03

PRUEBA DE INFILTRACIÓN

CAMPO: EL TALLAN
FECHA: 15/09/2019
MÉTODO: DEL CILINDRO INFILTRÓMETRO
TEXTURA: FRANCO ARENOSO

OBSERVADOR: Brayan S. Carrasco Castañeda
N° DE PRUEBA: 3

Lectura n°	Hora	Tiempo Parcial		Tiempo Acumulado	Lectura	Enrase	Laminas parciales		Laminas Acumuladas	Velocidad de infiltración (cm/hora)	
		minutos	segundos				cm	mm		Instantanea	Promedio
1	8:32 a. m.	0		0	15	15	-	-	-	-	-
2	8:33 a. m.	1		1	14.3		0.7		0.7	42.0	42.0
3	8:34 a. m.	1		2	14		0.3		1.0	18.0	30.0
4	8:35 a. m.	1		3	13.8		0.2		1.2	12.0	24.0
5	8:36 a. m.	1		4	13.6		0.2		1.4	12.0	21.0
6	8:37 a. m.	1		5	13.4		0.2		1.6	12.0	19.2
7	8:38 a. m.	1		6	13.1		0.3		1.9	18.0	19.0
8	8:40 a. m.	1		7	12.9		0.2		2.1	12.0	18.0
9	8:42 a. m.	3		10	12.7		0.2		2.3	4.0	13.8
10	8:47 a. m.	3		13	12.1		0.6		2.9	12.0	13.4
11	8:52 a. m.	3		16	11.9		0.2		3.1	4.0	11.6
12	8:57 a. m.	5		21	11.4		0.5		3.6	6.0	10.3
13	9:02 a. m.	5		26	11		0.4		4.0	4.8	9.2
14	9:12 a. m.	5		31	10.4		0.6		4.6	7.2	8.9
15	9:22 a. m.	10		41	14	15	1.0		5.6	6.0	8.2
16	9:32 a. m.	10		51	13.2		0.8		6.4	4.8	7.5
17	9:52 a. m.	10		61	12.4		0.8		7.2	4.8	7.1
18	10:12 a. m.	20		81	10.6		1.8		9.0	5.4	6.7
19	10:32 a. m.	20		101	13.1	15	1.9		10.9	5.7	6.5
20	11:02 a. m.	40		141	10.4		2.7		13.6	4.1	5.8
21	11:42 a. m.	60		201	12.8	15	2.2		15.8	2.2	4.7
				12:42pm							

Fuente: elaboración propia.

CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE LA LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA

N° ORDEN	Tiempo Acumulado min	Lamina infiltrada acumulada Icum. (cm)	Log t = x	Log Icum = y	x*y	X ²	Y ²
1	1	0.7	-	-0.154902	-	-	0.023995
2	2	1	0.301030	0.000000	0.000000	0.090619	0.000000
3	3	1.2	0.477121	0.079181	0.037779	0.227645	0.006270
4	4	1.4	0.602060	0.146128	0.087978	0.362476	0.021353
5	5	1.6	0.698970	0.204120	0.142674	0.488559	0.041665
6	6	1.9	0.778151	0.278754	0.216912	0.605519	0.077704
7	7	2.1	0.845098	0.322219	0.272307	0.714191	0.103825
8	10	2.3	1.000000	0.361728	0.361728	1.000000	0.130847
9	13	2.9	1.113943	0.462398	0.515085	1.240870	0.213812
10	16	3.1	1.204120	0.491362	0.591658	1.449905	0.241436
11	21	3.6	1.322219	0.556303	0.735554	1.748264	0.309472
12	26	4	1.414973	0.602060	0.851899	2.002150	0.362476
13	31	4.6	1.491362	0.662758	0.988412	2.224160	0.439248
14	41	5.6	1.612784	0.748188	1.206666	2.601072	0.559785
15	51	6.4	1.707570	0.806180	1.376609	2.915796	0.649926
16	61	7.2	1.785330	0.857332	1.530621	3.187403	0.735019
17	81	9	1.908485	0.954243	1.821158	3.642315	0.910579
18	101	10.9	2.004321	1.037426	2.079336	4.017304	1.076254
19	141	13.6	2.149219	1.133539	2.436223	4.619143	1.284910
20	201	15.8	2.303196	1.198657	2.760742	5.304712	1.436779
		Sumatoria=	24.719954	10.747674	18.013341	38.442101	8.625356

B=	0.599526359
N=	-0.203629512
A=	0.625706242
R'2=	16.2415306
R'2=	1.015868454

15.98782847

SX/20	SY/20	SX*Y/20	SX`2/20
1.235997682	0.537383678	0.900667048	1.922105069
SX*SY= 0.66420498			
(SX/19)`2= 1.52769027			

Fuente: elaboración propia.

CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

Nº ORDEN	Tiempo acumulado (min)	I(cm/hora)	Log t=X	Log I=Y	X*Y	X ²	Y ²
1	1	42.0	-	1.623249	-	-	2.634938
2	2	18.0	0.301030	1.255273	0.377875	0.090619	1.575709
3	3	12.0	0.477121	1.079181	0.514900	0.227645	1.164632
4	4	12.0	0.602060	1.079181	0.649732	0.362476	1.164632
5	5	12.0	0.698970	1.079181	0.754315	0.488559	1.164632
6	6	18.0	0.778151	1.255273	0.976792	0.605519	1.575709
7	7	12.0	0.845098	1.079181	0.912014	0.714191	1.164632
8	10	4.0	1.000000	0.602060	0.602060	1.000000	0.362476
9	13	12.0	1.113943	1.079181	1.202147	1.240870	1.164632
10	16	4.0	1.204120	0.602060	0.724952	1.449905	0.362476
11	21	6.0	1.322219	0.778151	1.028887	1.748264	0.605519
12	26	4.8	1.414973	0.681241	0.963938	2.002150	0.464090
13	31	7.2	1.491362	0.857332	1.278593	2.224160	0.735019
14	41	6.0	1.612784	0.778151	1.254990	2.601072	0.605519
15	51	4.8	1.707570	0.681241	1.163267	2.915796	0.464090
16	61	4.8	1.785330	0.681241	1.216240	3.187403	0.464090
17	81	5.4	1.908485	0.732394	1.397763	3.642315	0.536401
18	101	5.7	2.004321	0.755875	1.515016	4.017304	0.571347
19	141	4.1	2.149219	0.607455	1.305554	4.619143	0.369002
20	201	2.2	2.303196	0.342423	0.788667	5.304712	0.117253
		Sumatoria	24.719954	17.629326	18.627701	38.442101	17.266799

SX/19	SY/19	SX*Y/19	SX`2/19
1.235997682	0.881466277	0.931385066	1.922105069
SX*SY=			
1.089490275			
(SX/19)`2=			
1.52769027			

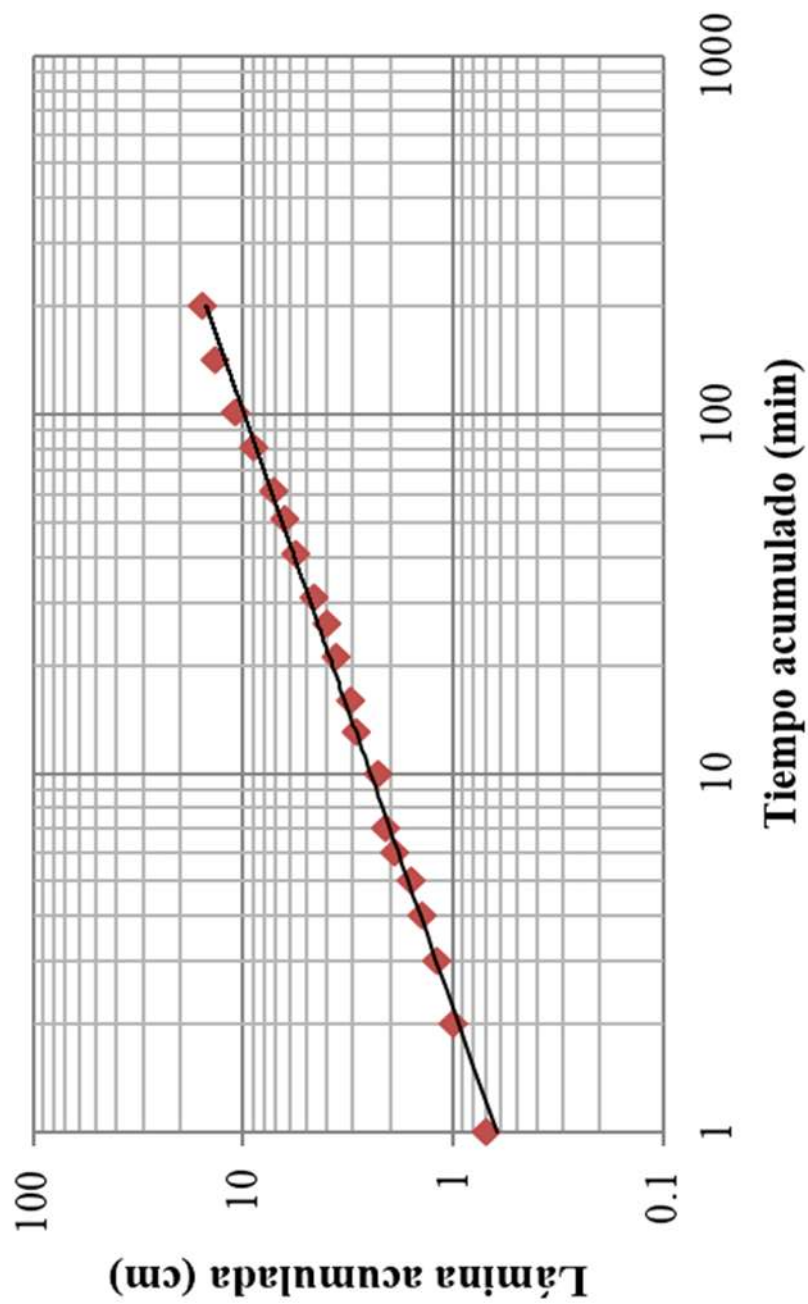
b=	-0.400860236
N=	1.376928599
a=	23.81927832
r`2	18.56692995
r`2=	3.251438937
Tb=	240.5161413
Ib=	2.644981039

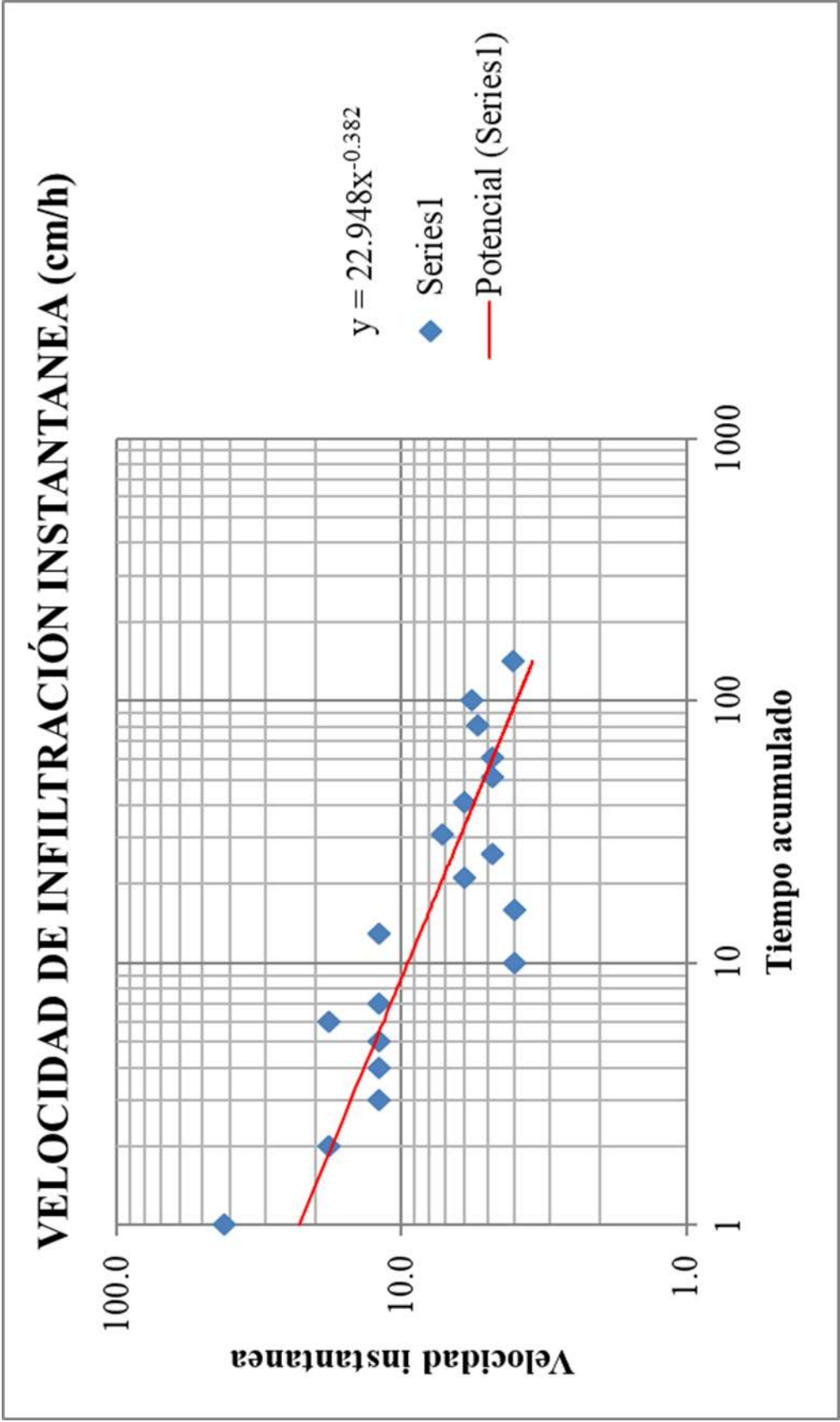
5.710373257

cm/h

Fuente: elaboración propia.

INFILTRACIÓN ACUMULADA (cm/min)





3.4. Prueba de infiltración N°04

PRUEBA DE INFILTRACIÓN

CAMPO: EL TALLAN
FECHA: 18/09/2019
MÉTODO: DEL CILINDRO INFILTRÓMETRO
TEXTURA: FRANCO ARENOSO

OBSERVADOR: Brayan S. Carrasco Castañeda
N° DE PRUEBA: 4

Lectura n°	Hora	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado	Lectura	Enrase	Laminas parciales	Laminas Acumuladas	Velocidad de infiltración (cm/hora)	
		minutos	minutos	cm	cm	cm	cm	Instantanea	Promedio
1	8:32 a. m.	0	0	15	15	-	-	-	-
2	8:33 a. m.	1	1	14		1.0	1.0	60.0	60.0
3	8:34 a. m.	1	2	13.7		0.3	1.3	18.0	39.0
4	8:35 a. m.	1	3	13.6		0.1	1.4	6.0	28.0
5	8:36 a. m.	1	4	13.5		0.1	1.5	6.0	22.5
6	8:37 a. m.	1	5	13.4		0.1	1.6	6.0	19.2
7	8:38 a. m.	1	6	13.2		0.2	1.8	12.0	18.0
8	8:40 a. m.	1	7	13.1		0.1	1.9	6.0	16.3
9	8:42 a. m.	3	10	12.8		0.3	2.2	6.0	13.2
10	8:47 a. m.	3	13	12.1		0.7	2.9	14.0	13.4
11	8:52 a. m.	3	16	12		0.1	3.0	2.0	11.3
12	8:57 a. m.	5	21	11.5		0.5	3.5	6.0	10.0
13	9:02 a. m.	5	26	11		0.5	4.0	6.0	9.2
14	9:12 a. m.	5	31	10.5		0.5	4.5	6.0	8.7
15	9:22 a. m.	10	41	14.7	15	0.3	4.8	1.8	7.0
16	9:32 a. m.	10	51	13.7		1.0	5.8	6.0	6.8
17	9:52 a. m.	10	61	12.7		1.0	6.8	6.0	6.7
18	10:12 a. m.	20	81	10.8		1.9	8.7	5.7	6.4
19	10:32 a. m.	20	101	14.0	15	1.0	9.7	3.0	5.8
20	11:02 a. m.	40	141	10.2		3.8	13.5	5.7	5.7
21	11:42 a. m.	60	201	14.0	15	1.0	14.5	1.0	4.3
	12:42 p. m.								

Fuente: elaboración propia.

CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE LA LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA

N° ORDEN	Tiempo Acumulado min	Lamina infiltrada acumulada Icum. (cm)	Log t = x	Log Icum = y	x*y	X ²	Y ²
1	1	1	-	0.000000	-	-	0.000000
2	2	1.3	0.301030	0.113943	0.034300	0.090619	0.012983
3	3	1.4	0.477121	0.146128	0.069721	0.227645	0.021353
4	4	1.5	0.602060	0.176091	0.106018	0.362476	0.031008
5	5	1.6	0.698970	0.204120	0.142674	0.488559	0.041665
6	6	1.8	0.778151	0.255273	0.198641	0.605519	0.065164
7	7	1.9	0.845098	0.278754	0.235574	0.714191	0.077704
8	10	2.2	1.000000	0.342423	0.342423	1.000000	0.117253
9	13	2.9	1.113943	0.462398	0.515085	1.240870	0.213812
10	16	3	1.204120	0.477121	0.574511	1.449905	0.227645
11	21	3.5	1.322219	0.544068	0.719377	1.748264	0.296010
12	26	4	1.414973	0.602060	0.851899	2.002150	0.362476
13	31	4.5	1.491362	0.653213	0.974176	2.224160	0.426687
14	41	4.8	1.612784	0.681241	1.098695	2.601072	0.464090
15	51	5.8	1.707570	0.763428	1.303607	2.915796	0.582822
16	61	6.8	1.785330	0.832509	1.486303	3.187403	0.693071
17	81	8.7	1.908485	0.939519	1.793058	3.642315	0.882696
18	101	9.7	2.004321	0.986772	1.977808	4.017304	0.973718
19	141	13.5	2.149219	1.130334	2.429335	4.619143	1.277654
20	201	14.5	2.303196	1.161368	2.674858	5.304712	1.348776
		Sumatoria=	24.719954	10.750762	17.528062	38.442101	8.116588

B=	0.537523617
N=	-0.126839838
A=	0.746724089
R'2=	12.53713247
R'2=	0.981709334

12.7707174

SX/20	SY/20	SX*Y/20	SX`2/20
1.235997682	0.537538106	0.876403123	1.922105069
SX*SY= 0.664395853			
(SX/19)`2= 1.52769027			

Fuente: elaboración propia.

CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

Nº ORDEN	Tiempo acumulado (min)	I(cm/hora)	Log t=X	Log I=Y	X*Y	X ²	Y ²
1	1	60.0	-	1.778151	-	-	3.161822
2	2	18.0	0.301030	1.255273	0.377875	0.090619	1.575709
3	3	6.0	0.477121	0.778151	0.371273	0.227645	0.605519
4	4	6.0	0.602060	0.778151	0.468494	0.362476	0.605519
5	5	6.0	0.698970	0.778151	0.543904	0.488559	0.605519
6	6	12.0	0.778151	1.079181	0.839766	0.605519	1.164632
7	7	6.0	0.845098	0.778151	0.657614	0.714191	0.605519
8	10	6.0	1.000000	0.778151	0.778151	1.000000	0.605519
9	13	14.0	1.113943	1.146128	1.276722	1.240870	1.313609
10	16	2.0	1.204120	0.301030	0.362476	1.449905	0.090619
11	21	6.0	1.322219	0.778151	1.028887	1.748264	0.605519
12	26	6.0	1.414973	0.778151	1.101063	2.002150	0.605519
13	31	6.0	1.491362	0.778151	1.160505	2.224160	0.605519
14	41	1.8	1.612784	0.255273	0.411699	2.601072	0.065164
15	51	6.0	1.707570	0.778151	1.328748	2.915796	0.605519
16	61	6.0	1.785330	0.778151	1.389257	3.187403	0.605519
17	81	5.7	1.908485	0.755875	1.442576	3.642315	0.571347
18	101	3.0	2.004321	0.477121	0.956304	4.017304	0.227645
19	141	5.7	2.149219	0.755875	1.624541	4.619143	0.571347
20	201	1.0	2.303196	0.000000	0.000000	5.304712	0.000000
		Sumatoria	24.719954	15.585419	16.119854	38.442101	14.797088

SX/19	SY/19	SX*Y/19	SX²/19
1.235997682	0.77927095	0.80599272	1.922105069

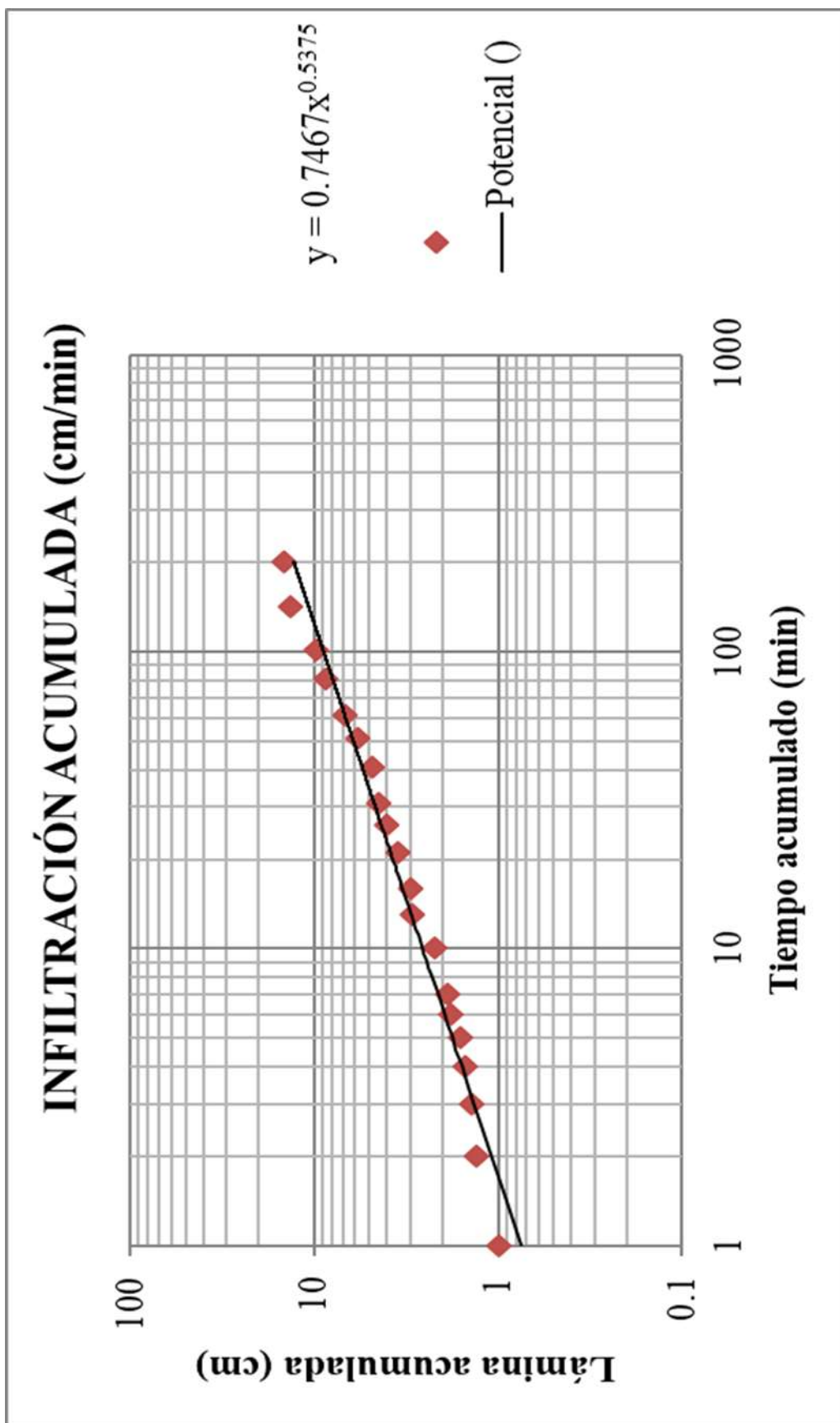
SX*SY=	0.963177088
(SX/19)²=	1.52769027

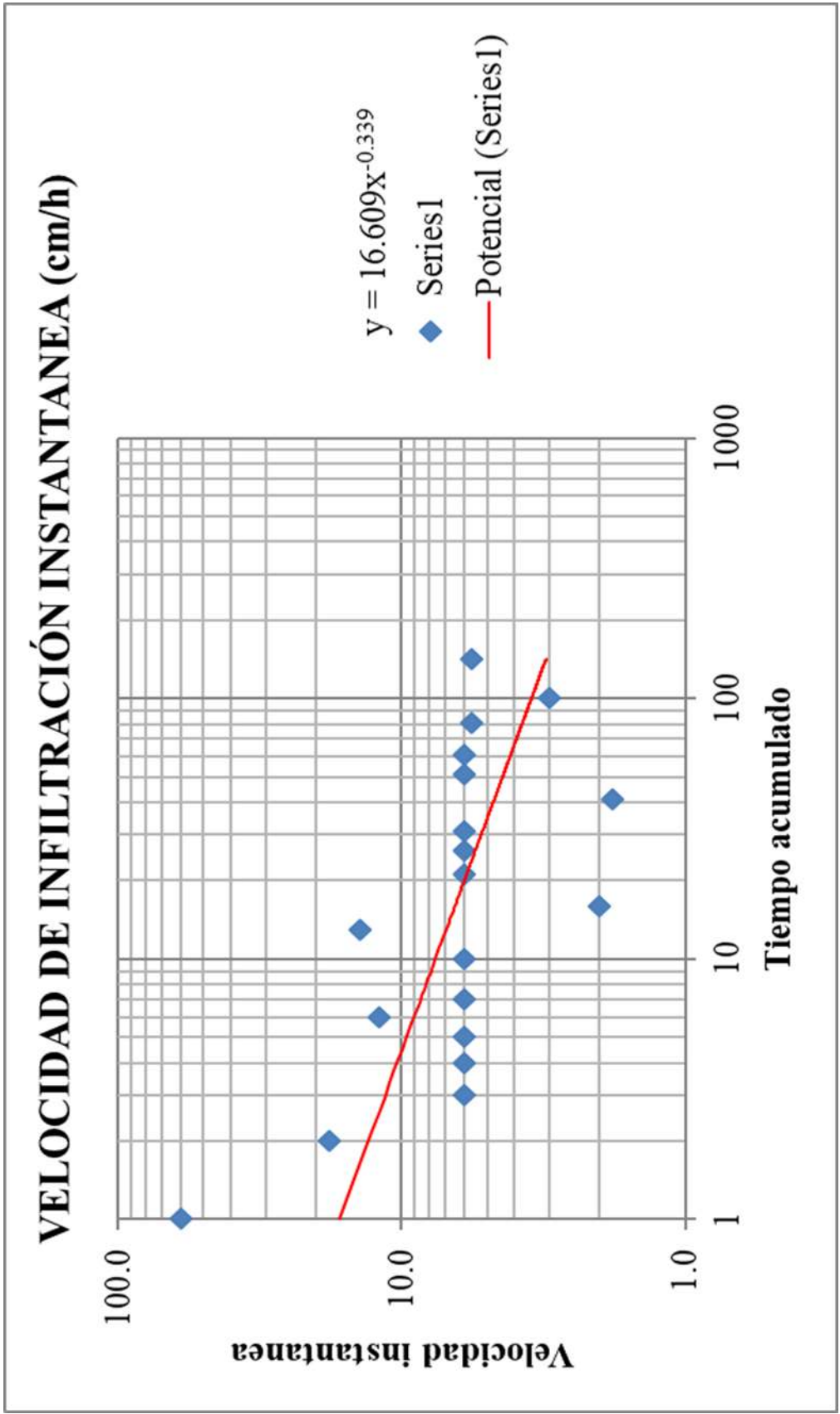
b=	-0.398525533
N=	1.271847585
a=	18.70025743
r²	17.28528838
r²=	1.367558302
Tb=	239.1153197
Ib=	2.108199971

cm/h

12.63952575

Fuente: elaboración propia.





COMUNIDAD DE USUARIOS DEL SECTOR HIDRÁULICO MEDIO Y BAJO PIURA
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
REGISTRO DE AFORO CON CORRENTÓMETRO

Fuente: Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura.

4.3. Prueba N°01- Punto III

COMITÉ DE USUARIOS SECTOR HIDRAULICO MEDIO Y BAJO PIURA
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
REGISTRO DE AFORO CON CORRENTOMETRO

SONDEOS		CORRENTOMETRO			VELOCIDAD			SECCIÓN			DESCARGA		RESERVACION
DEL PUNTO INICIAL	PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD DE LA OBSERVACIÓN	NÚMERO DE REVOLUCIONES	SEGUNDOS	EN EL PUNTO	COEFICIENTE	MEDIA DEL TRAMO	ANCHO	PROFUNDIDAD MEDIA	ÁREA (8)	PARCIAL		
M(1)	M(2)	M	-3	50'	M/S (4)		M/S(5)	M(6)	M(7)	M3/S (6X7)	M3/3(5X8)		
0.505	0.51	0.204	40		0.109								
1.01	0.86	0.344			0.217			0.205	1.01	0.457	0.461	0.095	
	1.00	0.4			0.290								
2.02	1.01	0.404			0.337			0.323	1.01	0.957	0.966	0.312	
	0.93	0.372			0.342			0.274	1.01	0.89	0.899	0.247	
3.03	0.73	0.292			0.326								
	0.43	0.172			0.155			0.106	1.01	0.387	0.391	0.041	
4.04					0.108								
					0.054								
											0.695		
		3.03-B											
ESTACIÓN: SAN MARTÍN				FECHA: 27/04/19				AFORO N° 03					
CORRIENTE:				MOLINETE: OTT - C31 N° 169047				PROMEDIO LECT. ESC:					
				OBSERVADOR: ING. LEONIDAS SILVA MECHATO - ING. VIRGILIO TUME MORALES				ÁREA TOTAL					
				PRINCIPIO: 12:05pm				VELOCIDAD MEDIA					
				TERMINO: 12:50pm				DESCARGA TOTAL : 0.695 M3/S					

Fuente: Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura.

4.4. Prueba N°01- Punto IV

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
INVESTIGACIÓN EN SISTEMAS DE AGUAS
LABORATORIO DE HIDRÁULICA Y SISTEMAS DE AGUAS
CARACAS, VENEZUELA

SONDEOS		CORRENTOMETRO			VELOCIDAD			SECCIÓN			DESCARGA OBSERVACION	
DEL PUNTO INICIAL	PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD DE LA OBSERVACIÓN	NÚMERO DE REVOLUCIONES	SEGUNDOS	EN EL PUNTO	COEFICIENTE	MEDIA DEL TRAMO	ANCHO	PROFUNDIDAD MEDIA	ÁREA (8)	DESCARGA PARCIAL	RESERVACION
M(1)	M(2)	METODO	M	3	M/S (4)		M/S(5)	M(6)	M(7)	M3/5 (6X7)	M3/3(5X8)	
0.453	0.31		0.12		0.33							
0.908	0.88		0.35		0.067		0.175	0.9075	0.397	0.360	0.063	
	0.96		0.38		0.129		0.228	0.9075	0.947	0.859	0.196	
1.815	1.00	4/10	0.40	50'	0.254							
	1.00		0.40		0.300		0.302	0.9075	0.973	0.883	0.267	
2.723	0.92		0.37		0.311							
	0.76		0.30		0.295		0.246	0.9075	0.56	0.508	0.125	
3.63					0.147							
											0.650	
		2.723=B										
ESTACIÓN: SAN MARTÍN				FECHA: 27/04/19				AFORO N° 04				
CORRIENTE:				MOLINETE: OTT - C31 N° 169047				PROMEDIO LECT. ESC:				
				OBSERVADOR: ING. LEONIDAS SILVA MECHATO - ING. VIRGILIO TUME MORALES				ÁREA TOTAL				
				PRINCIPIO: 01:25 pm				VELOCIDAD MEDIA				
				TERMINO: 2:10pm				DESCARGA TOTAL: 0.650 M3/S				

Fuente: Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura.

COMUNIDAD DE USUARIOS SECTOR HIDRAULICO MEDIO Y BAJO PIURA
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
REGISTRO DE AFORO CON CORRENTOMETRO

Fuente: Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
REGISTRO DE AFORO CON CORRENTOMETRO

Fuente: Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura.

4.7. Prueba N°02- Punto III

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
REGISTRO DE AFORO CON CORRENTOMETRO

SONDEOS		CORRENTOMETRO			VELOCIDAD			SECCIÓN			DESCARGA PARCIAL	OBSERVACIONES
DEL PUNTO INICIAL	PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD DE LA OBSERVACIÓN	NÚMERO DE REVOLUCIONES	SEGUNDOS	EN EL PUNTO	COEFICIENTE	MEDIA DEL TRAMO	ANCHO	PROFUNDIDAD MEDIA	ÁREA (8)		
M(1)	M(2)	METODO	M	3	M/S (4)		M/S(5)	M(6)	M(7)	M3/S (6X7)	M3/3(5X8)	
					0.07							
0.444	0.38		0.152	25	0.140		0.136	0.89	0.357	0.317	0.043	0.95
0.888	0.69		0.276	36	0.197							
1.332	0.81		0.324	61	0.326		0.288	0.89	0.787	0.700	0.202	
1.776	0.86	4/10	0.344	64	0.342							
2.22	0.85		0.34	63	0.337		0.295	0.89	0.807	0.718	0.212	
2.664	0.71		0.284	38	0.207							
3.108	0.43		0.172	26	0.145		0.142	0.89	0.380	0.338	0.048	
3.55					0.073							
			2.664-B									
ESTACIÓN: SAN MARTÍN				FECHA: 16/05/19				AFORO N° 03				
CORRIENTE:				MOLINETE: OTT - C31 N° 169047				PROMEDIO LECT. ESC:				
				OBSERVADOR: ING. LEONIDAS SILVA MECHATO - ING.VIRGILIO TUME MORALES				ÁREA TOTAL				
				PRINCIPIO: 11:55am				VELOCIDAD MEDIA				
				TERMINO: 12:45				DESCARGA TOTAL : 0.505 M3/S				

Fuente: Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura.

COMITÉ DE USUARIOS SECTOR HIDRAULICO MEDIO Y BAJO PIURA
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
REGISTRO DE AFORO CON CORRENTOMETRO

Fuente: Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura.

4.9. Prueba N°03- Punto I

UNION DE USUARIOS SECTOR HIDRAULICO MEDIO Y BAJO PIURA

[illegible]

Fuente: Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura.

5.0. Prueba N°03- Punto II

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
REGISTRO DE AFORO CON CORRENTOMETRO

[illegible]

Fuente: Junta de Usuarios del Medio y Bajo Piura.

